

Desenvolvimento de um Modelo de Otimização da Produção na Indústria Corticeira

Daniela Barbosa Marques

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Eduardo Gil da Costa



Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão

2017-01-13

Aos meus pais

Resumo

A unidade industrial da Amorim & Irmãos em Lamas implementou recentemente nas suas instalações um novo sistema de recolha e agregação de dados relativos ao processo produtivo, o que levou à obtenção mais rápida e fiável de estatísticas pertinentes e potenciou um acompanhamento mais próximo e constante do funcionamento das operações na fábrica. A empresa pretende agora utilizar a valiosa informação facultada pelo novo sistema na melhoria dos seus processos. Entre as várias ferramentas que equaciona desenvolver para atingir este objetivo, foi proposta a criação de um novo modelo de otimização da produção, a ser aplicado numa operação considerada relevante ao processo, e que pudesse posteriormente ser alargado às restantes operações existentes. Pretende-se que esta ferramenta esteja intimamente ligada ao sistema de recolha de informação recentemente implementado, incorporando os dados reais da produção e das existências em armazém por ele facultado.

A abordagem utilizada focou-se inicialmente na identificação do produto a estudar e na análise do fluxo produtivo do mesmo. Esta informação foi sintetizada recorrendo à ferramenta *Value Stream Mapping*, que contribuiu para a identificação da operação condicionante do processo, a operação da 2ª Escolha Eletrónica.

Após esta análise inicial, foi desenvolvido um modelo de auxílio ao planeamento da produção na restrição do processo, identificando as referências a serem utilizadas na alocação de produtos às máquinas. Este desafio foi tratado como um problema de Investigação Operacional, tendo o modelo de otimização sido concebido com recurso à ferramenta *Solver* do *Microsoft Excel*.

A ferramenta criada difere da atualmente utilizada no planeamento da operação da 2ª Escolha Eletrónica, na medida em que permite uma atualização constante das existências em armazém, possibilitando o planeamento diário da alocação de produtos às máquinas nesta operação, que é presentemente feito duas vezes por semana.

A matriz resultado obtida foi convertida em quadros de planeamento semelhantes aos utilizados na divulgação das ordens de produção, para que houvesse uma adaptação da ferramenta à forma como a informação é transmitida aos operadores das máquinas.

Apesar do reduzido tempo utilizado na implementação e monitorização da ferramenta, verificou-se que esta apresentava respostas credíveis e que podia funcionar como complemento ao planeamento existente. Por fim, foram identificadas algumas possibilidades de melhoria do modelo, que não puderam ser incluídas no mesmo devido ao curto espaço de tempo correspondente à duração do projeto, e a forma como poderão afetar a alocação feita pelo mesmo.

Development of a production optimization model in the cork industry

Abstract

The Amorim & Irmãos industrial unit in Lamas has recently implemented a new system for collecting and aggregating data on the production process, which has led to faster and more reliable statistics collection and closer monitoring of the operations in the factory. The company now intends to use the valuable information provided by the new system in the improvement of its processes. Among the various tools that it is considering developing to achieve this aim, it was proposed to create a new production optimization model, to be applied in an operation considered relevant to the process, and that could later be extended to the other existing operations. It is intended that this tool becomes closely linked to the recently implemented information collection system, incorporating the actual production and warehouse stocks data that it provides.

The used approach initially focused on the identification of the product to be studied and the analysis of the productive flow of the product. This information was synthesized using the Value Stream Mapping tool, which contributed to the identification of the limiting operation of the process, the operation of the 2nd Electronic Choice.

After this initial analysis, an aiding model to the planning of the production in the restriction of the process was developed, identifying the references to be used in the allocation of products to the machines. This challenge was treated as an Operational Research problem, and the optimization model was designed using the Microsoft Excel Solver tool.

The created tool differs from the one currently used in planning the operation of the 2nd Electronic Choice, since it allows a constant updating of stock in the warehouse, allowing the daily planning of the allocation of products to the machines in this operation, which is currently done twice a week.

The result matrix was converted into planning tables similar to those currently used, so that there would be an adaptation of the tool to the way the information is transmitted to the machine operators.

In spite of the short time spent in the implementation and monitoring of the tool, it was found that it presented credible answers and could work as a complement to the existing planning. Finally, some possibilities of improvement of the model were identified, and the way in which they could affect the allocation made by the tool.

Agradecimentos

A realização deste projeto não teria sido possível sem a intervenção de várias entidades, entre as quais destaco a Amorim & Irmãos, à qual agradeço a oportunidade de desenvolver este desafio nas suas instalações.

Ao Eng.º Tiago Pinho, meu orientador na empresa, pelo apoio, acompanhamento e transmissão de conhecimentos ao longo da duração do projeto.

À Equipa da Produção na unidade industrial de Lamas, na qual se destacam o Eng.º Bruno Maia, a Eng.ª Vanessa Andresio, o Eng.º Eduardo Moreira e o Eng.º Mário Silva, pelo esclarecimento de inúmeras dúvidas que foram surgindo e pela cooperação demonstrada em todos os momentos.

À Eng.ª Ana Rita Campos, pelo esforço continuado em tornar a integração mais rápida e amena.

À Professora Maria Antónia Carravilla, pela ajuda imprescindível que me prestou em fases cruciais do projeto e pelo grande interesse demonstrado no mesmo.

Aos Professores Bernardo Almada Lobo e José António Barros Basto, pelo auxílio em momentos-chave do projeto.

Ao Professor Eduardo Gil da Costa, pela disponibilidade demonstrada em todos os momentos, pela paciência e impassibilidade face às adversidades.

Por fim, à minha família, por ser uma fonte constante de determinação e segurança e por nunca ter deixado que perdesse o meu rumo.

Índice de Conteúdos

1	Introdução	1
1.1	A Amorim & Irmãos, S.A.	1
1.2	Enquadramento e objetivos do projeto	3
1.3	Metodologia adotada.....	3
1.4	Estrutura da dissertação	4
2	Enquadramento teórico	5
2.1	Produção <i>lean</i>	5
2.1.1	Do Sistema de Produção Toyota à produção <i>lean</i>	5
2.1.2	Princípios <i>lean</i>	5
2.1.3	Ferramentas <i>lean</i> – <i>Value Stream Mapping</i>	6
2.2	Gestão da cadeia de abastecimento	7
2.2.1	Sistemas <i>pull</i> e sistemas <i>push</i>	8
2.2.2	Cálculo de capacidades.....	9
2.2.3	Teoria das Restrições	9
2.3	Gestão da produção.....	11
2.4	Otimização em Investigação Operacional	12
3	Situação inicial	14
3.1	O Processo produtivo de rolhas naturais	14
3.1.1	Descrição das operações	14
3.1.2	Classificação dos artigos	17
3.2	Capacidades das operações.....	17
3.2.1	Capacidade da operação da pré-secagem	18
3.2.2	Capacidade do setor dos Acabamentos Mecânicos I	18
3.2.3	Capacidade do setor da 2ª Escolha Eletrónica	19
3.2.4	Capacidade do setor da Lavação	19
3.2.5	Capacidade das operações de Estufas	20
3.2.6	Capacidade do setor da 3ª Escolha Eletrónica	20
3.3	Mapeamento do processo.....	21
3.4	Identificação da restrição do processo.....	24
4	Descrição da solução proposta	25
4.1	Escolha do setor a otimizar	25
4.2	Referências utilizadas no setor	26
4.3	Produção nos grupos de máquinas.....	27
4.4	Cadências registadas nas máquinas	28
4.5	Paragens na produção.....	28
4.5.1	<i>Setups</i> na produção.....	29
4.5.2	Outras paragens na produção	30
4.6	Construção do modelo	30
4.6.1	Dados a utilizar no modelo	30
4.6.2	Variáveis de decisão.....	33
4.6.3	Restrições.....	33
4.6.4	Objetivos.....	33
4.7	Planeamento.....	34
4.8	Resultados	34
5	Conclusões e perspetivas de trabalho futuro.....	36
	Referências	38
ANEXO A:	Redução do número de referências em armazém a considerar	39
ANEXO B:	Exemplo da conversão da matriz resultado em Tabelas de planeamento	40

Siglas

AMII – Acabamentos Mecânicos II

MRP - *Manufacturing Resource Planning*

ROSA - *Rate of Optimal Steam Application*

S. A. – Sociedade Anónima

S. G. P. S. – Sociedade Gestora de Participações Sociais

SVE – Sistema de Vedação e Estanquicidade

TCA – Triocloroanisol

TPS – *Toyota Production System*

UI – Unidade Industrial

UN – Unidade de Negócio

VSM – *Value Stream Mapping*

WIP – *Work in Process*

Índice de Figuras

Figura 1 - Organigrama da Corticeira Amorim S.G.P.S., S.A.	1
Figura 2 - As unidades industriais da Amorim & Irmãos em Portugal	2
Figura 3 - Rolha natural e rolha <i>Acquamar</i> (Amorim & Irmãos, 2016)	2
Figura 4 - Ícones a utilizar no VSM (adaptado de Jacobs e Chase, 2014)	7
Figura 5 - Fluxo de informação e material no sistema <i>pull</i> (Bonney <i>et al.</i> , 1999)	8
Figura 6 - Fluxo de informação e de material no sistema <i>push</i> (Bonney <i>et al.</i> , 1999)	9
Figura 7 - Linha de produção com restrição de capacidade (Watson <i>et al.</i> , 2007)	10
Figura 8 - Fatores com influência no planeamento da produção (Jacobs e Chase, 2014)	11
Figura 9 - Esquematização do processo produtivo de rolhas naturais	14
Figura 10 - Traços perfurados em broca manual (A) e em broca automática (B)	15
Figura 11 - Classes obtidas na 1ª Escolha Eletrónica: AA, A, B, C, repasse e aparta	16
Figura 12 - <i>Value Stream Mapping</i> do processo produtivo	22
Figura 13 - <i>Value Stream Mapping</i> após identificação de possíveis melhorias	23
Figura 14 - Fluxograma do setor da 2ª Escolha Eletrónica	24
Figura 15 - Contentores à saída da 1ª Escolha Eletrónica, com a respetiva referência e ordem de fabrico	26
Figura 16 - Armazém que alimenta a 2ª Escolha Eletrónica	27
Figura 17 - Lote alocado a uma linha produtiva, que vai sendo introduzido numa moega	29
Figura 18 - Layout do setor da 2ª Escolha Eletrónica	29
Figura 19 - Matriz de preferências na alocação das referências às linhas de máquinas	31
Figura 20 - Exemplificação dos dados a utilizar no modelo	32
Figura 21 - Matriz resultado do modelo de otimização	34
Figura 22 - Constatação da não aderência ao planeamento na produção do terceiro dia	34
Figura 23 - Constatação da falta de rolhas para preenchimento de um turno completo	35

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Nível de utilização da capacidade na operação da pré-secagem	18
Tabela 2 - Nível de utilização da capacidade no setor dos Acabamentos Mecânicos I	18
Tabela 3 - Nível de utilização da capacidade no setor da 2ª Escolha Eletrónica	19
Tabela 4 - Nível de utilização da capacidade no setor da Lavação	19
Tabela 5 - Nível de utilização da capacidade nas operações de Estufas	20
Tabela 6 - Nível de utilização da capacidade no setor da 3ª Escolha Eletrónica	20
Tabela 7 - Referências no armazém da 2ª Escolha Eletrónica, provenientes da 1ªEE	26
Tabela 8 - Capacidade produtiva das máquinas da 2ª Escolha Eletrónica por turno.....	27
Tabela 9 - Cadência média por referência, tendo em conta a classe industrial	28
Tabela 10 - Paragem da produção nos equipamentos da 2ª Escolha Eletrónica	28

1 Introdução

O presente projeto foi realizado no âmbito da unidade curricular Dissertação, parte integrante do Mestrado Integrado em Engenharia Industrial e Gestão, da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

O projeto foi delineado e proposto pela Amorim & Irmãos, S.A., tendo sido desenvolvido em ambiente empresarial, mais concretamente na unidade industrial de Santa Maria de Lamas. Neste capítulo será feita uma apresentação da empresa em questão, assim como da unidade industrial mencionada. São também descritos os objetivos propostos pela empresa, a metodologia adotada para consumação dos mesmos e a estrutura da dissertação que se apresenta.

1.1 A Amorim & Irmãos, S.A.

Fundada em 1922 por António Alves Amorim, a Amorim & Irmãos é uma unidade de negócios que integra a Corticeira Amorim S.G.P.S., S. A., a maior empresa mundial de produtos de cortiça. A Corticeira Amorim divide-se em cinco unidades de negócio, a saber Matéria-Prima, Rolhas, Aglomerados Compósitos, Revestimentos e Isolamentos (Figura 1). A Amorim & Irmãos é a Unidade de Negócios de Rolhas da empresa, constituindo o maior produtor e fornecedor de rolhas de cortiça a nível mundial.

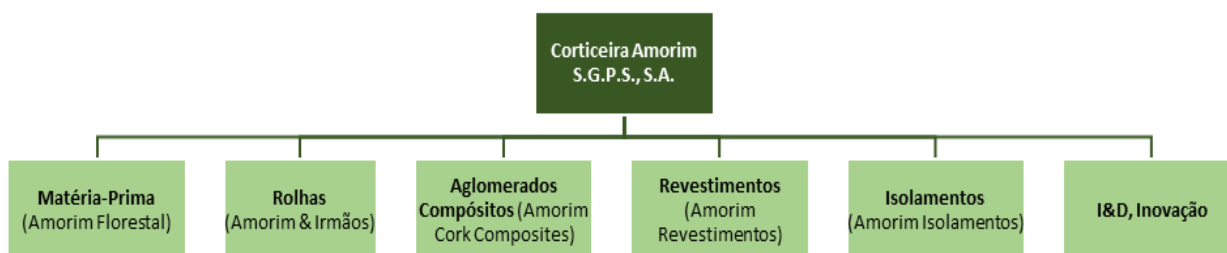


Figura 1 - Organograma da Corticeira Amorim S.G.P.S., S.A.

A Amorim & Irmãos registou no ano de 2015 uma produção de 4,2 mil milhões de rolhas, o que corresponde a 35% da quota do mercado global da cortiça (Amorim & Irmãos, S.A., 2015). Durante os últimos anos, a UN Rolhas tem vindo a crescer de forma estável, fruto de uma aposta na consolidação e expansão da sua quota de mercado, oferecendo uma vasta gama de produtos que pretende ir de encontro às necessidades expressas nos mercados onde atua. A Amorim & Irmãos mantém presença em todos os mercados vinícolas, o que lhe permite manter um elevado nível de serviço e usufruir de uma maior proximidade dos seus clientes, ao mesmo tempo que promove junto destes uma imagem de qualidade, disponibilidade, capacidade de desenvolvimento de produtos e sustentabilidade dos artigos comercializados (Corticeira Amorim S.G.P.S., S.A., 2015).

A fim de dar resposta às características e exigências dos diversos mercados onde opera, a unidade de negócios Rolhas é servida por várias unidades industriais que se dedicam à produção de diferentes tipos de rolhas. As unidades industriais que fazem parte da unidade de negócios Rolhas são a UI de Lamas, a UI *Portocork*, a UI de Sousa, a UI *Champcork*, a UI *Top Series*, a UI Vasconcelos & Lyncke, a UI Equipar e a UI Distribuição. A Figura 2 sintetiza o papel destas unidades industriais na empresa, apresentando as atividades nelas efetuadas.

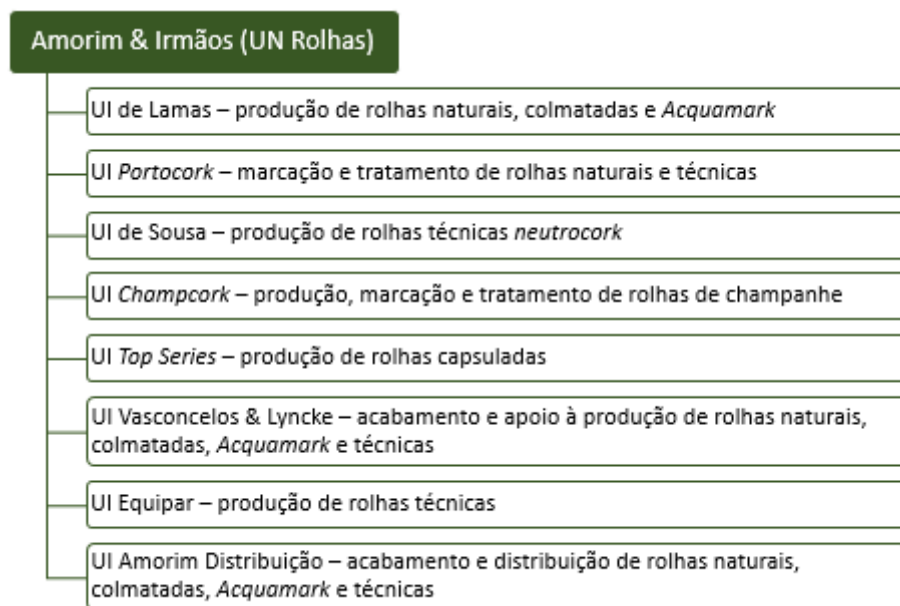


Figura 2 - As unidades industriais da Amorim & Irmãos em Portugal

A unidade industrial de Lamas, sobre a qual incide a presente dissertação, apresenta três produtos-tipo no seu *portfolio*: as rolhas naturais, as rolhas colmatadas e as rolhas *Acquamark*. A Figura 3 mostra as diferenças entre uma rolha natural e uma rolha que teve que ser submetida a um processo de colmatagem para cobertura de defeitos, neste caso, o processo *Acquamark*, para que pudesse ser comercializada como vedante.



Figura 3 - Rolha natural e rolha *Acquamark* (Amorim & Irmãos, 2016)

Tendo apenas em consideração o que se produz na unidade industrial de Lamas, as rolhas naturais correspondem a cerca de 60% do volume de produção da fábrica, o que equivale a quase 90% do valor de todas as rolhas aqui produzidas. Tendo em conta estes números expressivos, fica justificada a incidência da presente dissertação no processo produtivo de rolhas naturais, também designado como processo produtivo principal, apenas se referindo às rolhas colmatadas e às rolhas *Acquamark* quando se julgar pertinente.

Os três tipos de rolhas produzidas na unidade industrial de Lamas são obtidas a partir de pranchas de cortiça provenientes da Amorim Florestal. As primeiras etapas do processo produtivo são comuns a todo o tipo de rolhas produzidas na fábrica, sendo que as rolhas de qualidade inferior vão sendo retiradas do processo após sucessivas operações de escolha eletrónica, que segregam as rolhas em classes segundo a qualidade visual que apresentam. A partir do momento em que são excluídas do processo produtivo principal, estas rolhas de qualidade inferior seguem num circuito independente do das rolhas naturais, com destino a

uma secção da fábrica dedicada ao processo de colmatagem, e não voltando, idealmente, a estar em contacto com as rolhas naturais.

O processo de colmatagem consiste no revestimento da rolha com uma base, aquosa no caso das rolhas *Acquamark* ou solvente no caso das rolhas colmatadas, que permite a fixação de partículas nos orifícios das rolhas sem que haja, posteriormente, contaminação do produto alimentar a estancar. Este processo permite o aproveitamento das rolhas de qualidade inferior que não estão em condições para serem comercializadas como rolhas naturais, mas que podem, desta forma, constituir uma alternativa mais económica às rolhas naturais, com níveis de *performance* bastante similares.

1.2 Enquadramento e objetivos do projeto

A unidade industrial de Santa Maria de Lamas encontra-se na fase final de implementação de um *Manufacturing Resource Planning* (MRP), denominado internamente por PPAI (Planeamento e Produção da Amorim & Irmãos). Este sistema de informação reúne toda a informação de suporte necessária à gestão em tempo real da produção na unidade industrial em questão.

A UI de Lamas pretende melhorar o seu planeamento da produção, procurando otimizar a alocação dos produtos armazenados entre operações (*work in process* – WIP) à operação seguinte. A natureza específica da matéria-prima utilizada, a cortiça, faz com que a chegada dos artigos a um determinado armazém de produtos em vias de fabrico não seja, à partida, conhecida com exatidão. Este projeto pretende, em suma, desenvolver uma ferramenta que planeie a alocação do produto a uma determinada operação crítica ainda a determinar, sendo que o sucesso deste projeto poderá resultar na replicação da ferramenta às restantes operações da cadeia de valor.

Este projeto integra-se no departamento de Gestão da Produção da unidade industrial de Lamas, cuja equipa acompanhou e serviu de suporte ao trabalho ao longo de toda a sua duração.

1.3 Metodologia adotada

Para que fossem atingidos os objetivos propostos, foi necessário definir uma metodologia a seguir ao longo do projeto. Começou-se por estudar, de uma forma geral, o processo produtivo de rolhas naturais, análise essa que foi apoiada pela equipa da Produção e por inúmeras visitas ao *gemba* – chão de fábrica – para que as características essenciais das operações pudessem ser assimiladas. Este estudo prévio foi depois complementado com dados reais de produção provenientes do PPAI, que permitiram aprofundar o nível de conhecimento da cadeia de valor, de forma a conhecê-la na sua totalidade. Sendo este um processo produtivo longo e algo complexo, acrescido de um *lead time* considerável, procurou-se sintetizar toda a informação previamente obtida recorrendo ao mapeamento da cadeia de valor, utilizando para o efeito a ferramenta *Value Stream Mapping* (VSM). A utilização do VSM ajudará a obter uma visão global da cadeia de valor, auxiliando na compreensão dos seus fluxos de material e de informação e na identificação de eventuais operações críticas do processo produtivo.

No final deste passo, será possível identificar qual a operação a escolher para um estudo mais exaustivo, que culminará no desenvolvimento da ferramenta de otimização a implementar. Pretende-se que tanto a ferramenta como os dados obtidos para o seu desenvolvimento possam ser incorporados nas ferramentas de alocação do produto às máquinas já existentes e atualmente utilizadas, sendo que o objetivo futuro passaria por obter um planeamento

automático e diário não só da operação estudada nesta dissertação, como nas restantes que completam o processo produtivo. Serão ainda dadas sugestões de como a ferramenta e o processo de alocação poderão ser melhorados no futuro.

1.4 Estrutura da dissertação

A presente dissertação encontra-se dividida em cinco capítulos.

Neste primeiro capítulo foi introduzido o projeto, tendo sido apresentada a unidade industrial onde foi desenvolvido e a empresa à qual esta unidade pertence. Neste capítulo foram também expostos os objetivos propostos pela empresa e foi feita uma breve descrição da metodologia traçada para que estes fossem atingidos.

O segundo capítulo refere-se à análise bibliográfica, dando a conhecer o estado da arte dos temas e conceitos abordados, que serviram de suporte, de um ponto de vista teórico, ao longo de toda a dissertação.

O terceiro capítulo caracteriza a situação inicial encontrada na empresa, com foco na descrição dos processos produtivos e na identificação de oportunidades de melhoria a explorar. A fim de tornar mais visual e intuitiva a análise de todo o processo, para além de preparar o planeamento das fases seguintes, recorreu-se ainda neste capítulo à ferramenta *Value Stream Mapping* para mapeamento da cadeia de valor.

O quarto capítulo foca-se numa operação particular da cadeia de valor, identificada a partir do estudo das capacidades e das restrições do processo. Esta operação é estudada de forma mais exaustiva, assim como o armazém que a abastece. São ainda apresentadas neste capítulo as bases que ajudarão ao desenvolvimento da ferramenta de otimização da alocação do produto à operação em causa, assim como uma breve descrição da mesma.

O quinto e último capítulo propõe uma reflexão à totalidade do projeto e apresenta sugestões de melhorias a implementar no futuro.

2 Enquadramento teórico

Neste capítulo, são abordados os principais temas que serviram de suporte ao projeto desenvolvido. São eles a produção *lean*, a gestão da cadeia de abastecimento, a gestão da produção e a otimização em Investigação Operacional.

2.1 Produção *lean*

A produção *lean* é uma das contribuições mais relevantes para a gestão da cadeia de valor dos últimos anos. A cadeia de valor é um termo relacionado com o conceito de que cada passo das operações que existem no processo de produção de determinado produto deve criar valor a esse mesmo produto. Neste contexto, a produção *lean* implica um foco na eliminação do máximo de desperdícios possível (Jacobs e Chase, 2014), sendo que se considera desperdício a utilização de recursos para qualquer outro fim que não a criação de valor para o cliente.

Os desperdícios podem existir sob as mais diversas formas no processo produtivo, tais como a existência de operações que não acrescentam valor ao produto, movimentos desnecessários, tempo de espera na produção ou ainda excesso de *stock* em inventário.

2.1.1 Do Sistema de Produção Toyota à produção *lean*

O conceito *lean* evoluiu a partir do *Toyota Production System* (TPS), desenvolvido na Toyota a partir do final dos anos quarenta. Este sistema de produção pode ser considerado como o *benchmarking* para a produção *lean*, uma vez que definiu um conjunto de normas que foram mais tarde usadas como ponto de referência para esta nova filosofia.

Taiichi Ohno, considerado como o maior responsável pela criação do TPS, desenvolveu este sistema num contexto de necessidade extrema, num país devastado pela Segunda Guerra Mundial. Na altura, a indústria automóvel nipónica atravessava dificuldades em estabelecer-se no mercado mundial, tentando sobreviver em competição com a produção em série estabelecida nas indústrias ocidentais. A introdução deste sistema permitiu que a Toyota comesse a produzir pequenas quantidades de diversas variedades de produto, mantendo a elevada qualidade do seu produto a um baixo custo (Ohno, 1988). Segundo Liker, citado por Jacobs e Chase (2014), este sistema foi construído para melhorar a qualidade e a produtividade e é baseado em duas filosofias que são centrais na cultura japonesa: a eliminação de desperdícios (*muda* no original japonês) e o respeito pelas pessoas.

As ideias por detrás da produção *lean* foram articuladas pela primeira vez na obra de 1990, *The Machine That Changed the World: The Story of Lean Production*, de Womack, Jones e Roos. Os conceitos aplicados no TPS foram analisados pelos autores, que descrevem na sua obra a revolução a que se assistiu na indústria automóvel, desde a produção artesanal à produção em série, culminando na produção *lean* (Poppendieck, 2002).

Os sistemas de produção *lean* têm como objetivo a obtenção do produto pretendido pelo cliente, nas quantidades especificadas, no período de tempo desejado e utilizando o mínimo de recursos possível, mantendo inventários mínimos tanto de matéria-prima, como de produtos em vias de fabrico e produtos acabados (Jacobs e Chase, 2014).

2.1.2 Princípios *lean*

Segundo Womack e Jones (2003), a filosofia *lean* rege-se por cinco princípios, que se descrevem.

- Valor: a definição de valor é o passo mais importante para a implementação do pensamento *lean* numa empresa. A satisfação das necessidades e expectativas do

cliente, ideal máximo em qualquer organização, deverá passar por procurar entender e definir o produto atendendo às especificações do cliente. O estudo prévio destas expectativas permitirá à empresa oferecer ao seu cliente um produto de maior valor de acordo com as suas exigências e eliminar desperdícios relacionados com o desenvolvimento de características sem interesse para o cliente.

- Cadeia de valor: torna-se necessária a identificação de todas as atividades e operações que constituem a cadeia de valor, desde a aquisição da matéria-prima a fornecedores até à entrega do produto final ao cliente. Estas atividades podem acrescentar valor ao produto, sendo designadas como atividades de valor acrescentado, ou constituir desperdício, devendo a organização proceder à sua eliminação.
- Fluxo: é importante alinhar todas as atividades que criam valor num fluxo contínuo de materiais e de informação desde a obtenção da matéria-prima até à expedição ao cliente final. A criação deste fluxo permitirá eliminar desperdícios decorrentes de interrupções ou transportes desnecessários na cadeia de valor, levando à diminuição do *lead time* do processo.
- Sistema *pull*: nos sistemas de produção *pull*, a produção é determinada pela procura, sendo as necessidades manifestadas pelo cliente a conduzir os processos. Este tipo de sistema produz apenas o absolutamente necessário num determinado momento, respondendo de forma oportuna e eficaz às necessidades do cliente, ao mesmo tempo que permite às empresas a manutenção de baixos níveis de *stock* em inventário.
- Perfeição: depois de encontrado um equilíbrio entre os princípios anteriores, será preciso introduzir uma cultura de melhoria contínua na organização, na qual os intervenientes no processo deverão procurar continuamente novas formas de criar valor, identificando e eliminando desperdícios, numa busca incessante pela perfeição.

A execução sequencial dos princípios definidos permitirá às organizações eliminar os desperdícios existentes na sua cadeia de valor, levando à redução do *lead time* dos processos e à eliminação da necessidade de manter elevados níveis de *stock* em inventário nas fábricas.

2.1.3 Ferramentas *lean* - Value Stream Mapping

São diversas as ferramentas *lean* que podem ser utilizadas na aplicação da filosofia no contexto industrial. Uma destas ferramentas é o *Value Stream Mapping* (VSM), um fluxograma que permite o mapeamento dos fluxos de material e de informação necessários à coordenação das atividades desde a matéria-prima até à entrega do produto final ao cliente. Segundo Rother e Shook (2003), que a introduziram, a utilização desta ferramenta tem como principais objetivos a criação de valor e a eliminação de *muda*, consistentes com os princípios do pensamento *lean*.

No contexto de um processo produtivo, esta técnica é usada para a identificação de todas as operações a que o produto fica sujeito durante a sua transformação. Após o mapeamento do processo, pode ser feita a identificação de processos desnecessários e podem ser criados fluxos de forma a modificar ou reduzir o tempo gasto nestas atividades, para que o sistema se torne mais produtivo (Jacobs e Chase, 2014).

Esta técnica deve ser o primeiro passo do estudo do movimento de material através de um processo produtivo, uma vez que permite obter uma visão global do mesmo, ajudando à sua compreensão como um todo, e identifica pontos de acumulação de inventário. Desta forma, são proporcionadas condições para a criação de valor para o cliente, assim que estejam identificadas as principais causas de desperdício no sistema. As oportunidades de melhoria

observadas podem ser sintetizadas num novo VSM, construído de forma a representar uma visão futura idealizada do processo.

A construção dos diferentes estados da cadeia de valor é feita com a utilização dos ícones representados na Figura 4. A utilização desta simbologia não está normalizada; porém, os símbolos representados (ou semelhantes) são os mais comumente utilizados.







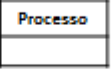






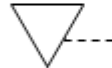

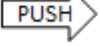





Ícones do Fluxo Material		Ícones do Fluxo de Informação		Ícones Gerais
 Fornecedores/ Clientes	 Operação de valor acrescentado	 Fluxo de informação manual	 Fluxo de informação eletrónico	 Foco Kaizen
 Inventário	 Informação do processo	 Planeamento	 Caixa de nivelamento	 Operador
 Transporte por camião	 Transporte interno	 Kanban de fluxo	 Kanban de produção	 Controlo de Qualidade
 Movimento push	 Movimento pull	 Sequenciador	 Planeamento informal	
 Sequência First In First Out	 Supermercado			

Figura 4 - Ícones a utilizar no VSM (adaptado de Jacobs e Chase, 2014)

2.2 Gestão da cadeia de abastecimento

Uma das mudanças mais significativas na gestão moderna de empresas relaciona-se com o facto de uma empresa já não poder competir no mercado como uma entidade autónoma isolada, tendo que o fazer como parte integrante de uma cadeia de abastecimento (Cooper, Lambert e Pagh, 1998).

A cadeia de abastecimento é definida como um sistema integrado que sincroniza uma série de processos inter-relacionados com o objetivo de: (1) adquirir matérias-primas e componentes; (2) transformar estas matérias-primas e componentes em produtos acabados; (3) acrescentar valor a estes produtos; (4) distribuir e promover estes produtos a retalhistas ou a clientes finais; (5) facilitar a troca de informação entre várias entidades pertinentes ao negócio como fornecedores, produtores, operadores logísticos ou retalhistas (Min e Zhou, 2002).

O conceito de gestão da cadeia de abastecimento (*Supply Chain Management*) define-se como a idealização, construção e melhoria destes sistemas que criam e distribuem produtos e serviços (Jacobs e Chase, 2014). A gestão eficaz de uma cadeia de abastecimento pressupõe a existência de uma forte integração nas suas múltiplas relações, de forma a melhorar a eficiência operacional, a rentabilidade e a posição competitiva da empresa e dos seus parceiros na cadeia logística (Min e Zhou, 2002).

2.2.1 Sistemas *pull* e sistemas *push*

Os conceitos de *pull* e *push* são utilizados em variados domínios como o da gestão de operações, logística ou gestão da cadeia de abastecimento, para descrever a forma como é dada a libertação de ordens de produção no sistema.

Villa e Watanabe, citados por Bonney *et al.* (1999), comentam que a forma encontrada para dar resposta a esta questão da gestão das ordens de produção difere claramente entre as economias do Ocidente e a japonesa. A economia nipónica tem como objetivo assegurar a produção *lean*, que deve fluir sem desperdícios, com cada etapa do processo produtivo a puxar produtos e recursos de acordo com as necessidades existentes. Esta política é bastante diferente da ainda bastante utilizada no Ocidente, onde segundo os autores, a produção é planeada com vista a evitar a rutura de *stocks*, levando a que as ordens de produção em cada etapa sejam empurradas para responder a estes planos.

O comentário dos autores põe em evidência as vantagens da produção *pull* em relação à produção *push*, mais tradicional. Nos sistemas produtivos *push*, cada uma das operações do processo determina o que será produzido na operação seguinte. A produção numa dada operação é baseada na procura, que poderá ser calculada a partir de previsões ou dada por ordens de encomenda - procura real. Já no sistema de produção *pull*, uma determinada operação B faz um pedido de produção à operação que a antecede A, que reage produzindo e reabastecendo o *stock* que alimenta a operação B. Verifica-se que a produção na operação B começa quando os níveis de inventário da operação seguinte atingem um nível pré-determinado. Existe, assim, um sinal que é enviado desde o cliente, para cada uma das operações anteriores, que despoletam a produção em cada uma das operações. As características fundamentais dos dois sistemas de geração de ordens de produção aqui descritos estão representadas de forma esquemática nas Figuras 5 e 6. A análise destas imagens permite verificar que, de facto, a produção em cada operação é impulsionada pela retirada de *stock* do armazém que abastece a operação seguinte. Todas as operações realizam, desta forma, produção apenas para reabastecer o *stock* que vai sendo consumido a jusante. O trabalho produtivo é coordenado pela utilização de algum tipo de sinal (ou *kanban*) representado por um cartão, por exemplo (Spearman e Zazanis, 1992).

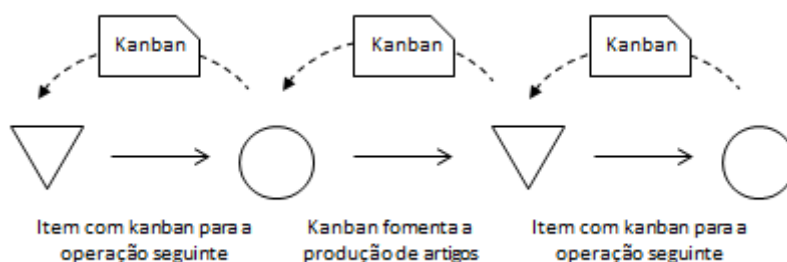


Figura 5 - Fluxo de informação e material no sistema *pull* (Bonney *et al.*, 1999)

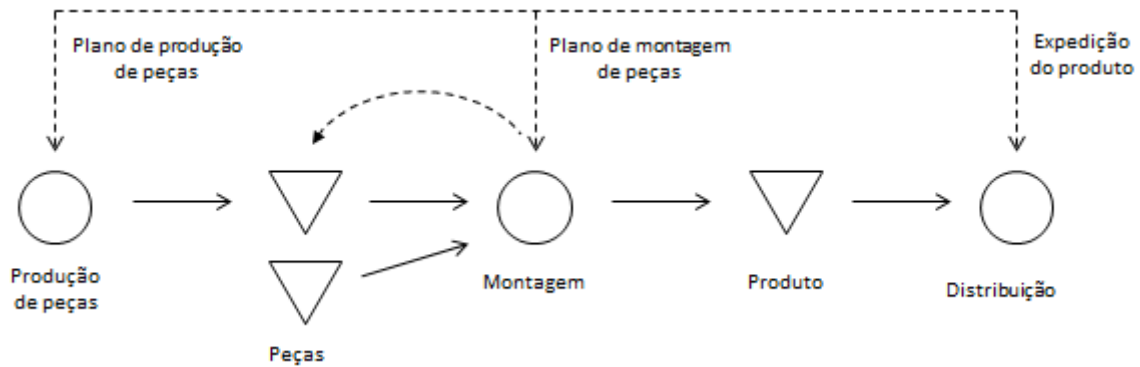


Figura 6 - Fluxo de informação e de material no sistema *push* (Bonney *et al.*, 1999)

Apesar das características principais destes dois tipos de sistemas parecerem bastante claras e distintas entre si, existem atualmente na comunidade científica diferentes visões de aplicação destes conceitos à vida real das organizações.

Venkatesh, citado por Bonney *et al.* (1999), trata os conceitos debatidos como paradigmas operacionais, considerando então que num sistema *push* uma determinada máquina entrará em produção sem esperar pelo pedido da máquina seguinte, em contraste com o sistema *pull*, no qual a máquina só produzirá quando receber uma ordem proveniente da máquina seguinte.

Porém, outros autores como Pyke e Cohen (1990) acreditam que a classificação de determinado sistema produtivo como sendo puramente do tipo *pull* ou exclusivamente do tipo *push* não é possível, nem sequer útil para a empresa. De acordo com esta aproximação à aplicação dos termos, estes devem ser considerados como características pertinentes ao processo de decisão e afetados a sistemas de controlo da produção. Como se sabe, os sistemas de controlo da produção agregam uma coletânea de decisões, que irão conter elementos de *push* ou de *pull* em variados graus de incidência. Porém, mesmo estes autores admitem que certos sistemas por vezes dão a impressão de serem predominantemente de um tipo ou do outro.

2.2.2 Cálculo de capacidades

O termo capacidade remete para o *output* que determinado sistema ou equipamento é capaz de produzir num determinado período de tempo. Porém, esta métrica apresenta problemas quando não se refere ao facto desse *output* reportar a picos de produção ou à produção média em períodos mais ou menos alargados de tempo. Assim, também é utilizado o conceito de melhor nível de operação (*best operating level*), que corresponde ao nível de capacidade para o qual o processo foi concebido.

Segundo Jacobs e Chase (2014), uma métrica bastante importante e que revela o quão próximo um sistema ou operação está do seu melhor nível de operação, é o nível de utilização da capacidade (*capacity utilization rate*), que pode ser calculada recorrendo à Equação 2.1.

$$\text{Nível de utilização da capacidade} = \frac{\text{Capacidade utilizada}}{\text{Melhor nível de operação}} (\%) \quad (2.1)$$

2.2.3 Teoria das Restrições

A Teoria das Restrições, no original *Theory of Constraints* (TOC), é uma teoria introduzida por Eli Goldratt na sua obra *The Goal* (1984). De acordo com esta teoria, deve-se considerar o *output* de um sistema como função desse sistema como um todo e não dos seus processos

individuais. Chega-se assim à conclusão que o *output* do sistema é função do seu elo mais fraco, que será a restrição de todo o sistema.

Para o autor, o objetivo principal de qualquer empresa será o aumento dos seus lucros. A Teoria das Restrições apresenta um conjunto de ferramentas que podem auxiliar as empresas a atingir esse objetivo, entre as quais os 5 passos que permitirão identificar e eliminar restrições do processo. São eles: (1) Identificação da restrição do processo, (2) Decisão de como explorar a restrição, (3) Subordinação de todas as restantes operações à restrição, (4) Elevação da restrição (5), Retorno ao primeiro passo, não deixando que a inércia da falta de ação se torne a restrição do sistema (Goldratt, citado por Jacobs e Chase, 2014).

Enquanto a filosofia *lean* se foca na redução de custos através da eliminação de desperdícios e da redução da variabilidade em cada passo do processo produtivo, a Teoria das Restrições foca-se mais na sua aplicação. Os esforços de melhoria são concentrados apenas na operação que está a limitar um processo crítico ou no elemento mais fraco que limita a *performance* do sistema na sua totalidade (Jacobs e Chase, 2014).

A Figura 7 ilustra uma linha produtiva na qual foi identificado o recurso que restringe o processo, neste caso uma restrição de capacidade. Os sistemas ou processos podem estar sujeitos a outros tipos de restrições, como restrições de mercado, de logística, de gestão ou de comportamento.

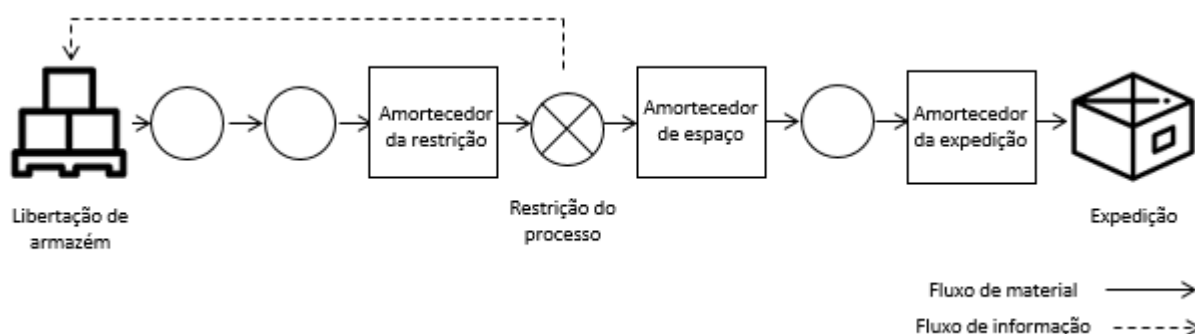


Figura 7 - Linha de produção com restrição de capacidade (Watson *et al.*, 2007)

A quantidade de WIP em inventário no sistema é a representação do nível de proteção dada a um recurso crítico, adquirindo neste contexto a designação de *buffer* (amortecedor). A Teoria das Restrições faz a distinção entre três tipos de *buffer* (de libertação de matérias do armazém, de expedição e de capacidade), sendo que o segundo passo da estratégia de Goldratt descrita, exploração da restrição, pode passar pelo reforço destes *buffers* (Watson *et al.*, 2007).

Num contexto de produção em série, as restrições deverão ser facilmente identificáveis, principalmente se existir a acumulação de grandes quantidades de *stock* de produtos em vias de fabrico. Porém, se o processo for *lean* (ou se pelo contrário for tão pouco *lean* que acumule um elevado WIP em vários pontos do seu processo) a utilização deste método mais intuitivo para a identificação da restrição pode não ser válida.

Segundo White, Sengupta e Vantil, citados por Sims e Wan (2017), existem atualmente quatro métodos populares de identificação do gargalo ou restrição do processo, que se indicam de seguida:

- A restrição será a máquina que está mais tempo ativa sem interrupção;
- A restrição será a máquina com maior percentagem de tempo de ciclo e ocorrência de falhas ou paragens na produção;
- A restrição será a máquina que tem em média a fila mais longa no seu abastecimento;
- A restrição será a máquina com a maior percentagem de utilização.

2.3 Gestão da produção

A gestão da produção consiste na aplicação de princípios de gestão na função produtiva de uma unidade fabril, envolvendo funções de coordenação, planeamento e controlo do processo produtivo. O seu objetivo passa pela utilização de sistemas de apoio à decisão, para que produtos e serviços possam ser obtidos de acordo com as especificações impostas pelo cliente e tendo em atenção tanto as quantidades como o calendário por este indicado, a um custo mínimo.

Segundo E.L. Brech, citado por M. K. Rastogi (2010), a gestão da produção é o processo de planeamento e regulação das operações que constituem um setor responsável pela transformação de materiais em produtos acabados. Rastogi (2010) define ainda gestão da produção como um conjunto de princípios gerais para a economia da produção, envolvendo, entre outros, dados relativos ao *design* da unidade industrial, ao desenvolvimento das atividades, ao controlo da qualidade, à gestão de inventário ou ao controlo de custos e orçamentação. Segundo o autor, a gestão da produção moderna tem que desempenhar uma variedade de funções, tais como:

- Desenho e desenvolvimento do processo produtivo;
- Planeamento e controlo da produção;
- Implementação do planeamento e atividades relacionadas para obtenção do resultado esperado;
- Administração e coordenação das atividades de diversos departamentos responsáveis pela produção dos bens e serviços necessários.

A Figura 8 representa fatores internos e externos que constituem o ambiente de planeamento da produção.



Figura 8 - Fatores com influência no planeamento da produção (Jacobs e Chase, 2014)

De uma forma geral, os fatores externos à empresa estão fora do controlo do responsável pelo planeamento, sendo que muitas das vezes a procura do mercado para cada produto pode ser gerida. Mesmo os próprios fatores internos podem diferir na sua facilidade de controlo, sendo

que pode existir alguma flexibilidade na gestão de fatores como a capacidade física dos equipamentos (Jacobs e Chase, 2014).

2.4 Otimização em Investigação Operacional

A Investigação Operacional (IO) é uma área científica que evoluiu do planeamento de operações e alocação de recursos, tendo sido impulsionada por desenvolvimentos militares durante a Segunda Guerra Mundial (Bertsimas e Tsitsiklis, 1997). A IO envolve a aplicação de um variado conjunto de métodos analíticos avançados no processo de apoio à decisão, tendo expandido ao longo das últimas décadas para setores como o da indústria, da logística ou dos negócios. Na Investigação Operacional são utilizadas técnicas como a modelação matemática, a otimização, a simulação ou a análise estatística, com o objetivo de encontrar soluções para problemas complexos.

A otimização é uma área da Matemática Aplicada que suscita grande interesse devido à sua vasta área de aplicação e à existência de algoritmos eficientes que podem ser utilizados em diversas situações reais. Consiste num processo que procura a melhor solução para um determinado problema, sendo bastante útil quando a complexidade do problema não permite que a solução seja encontrada de forma direta e manual (Bertsimas e Tsitsiklis, 1997). Uma aplicação típica para um modelo de otimização trata da alocação de recursos escassos, como equipamentos, matéria-prima, mão-de-obra ou capital, entre possíveis utilizações alternativas de forma a maximizar ou minimizar uma função objetivo.

Planeamento da produção

Wight, citado por Herrmann (2006), define o planeamento como sendo a determinação do período de tempo adequado à realização de determinada tarefa. Para o autor, os dois problemas-chave no planeamento da produção são as prioridades da alocação e as capacidades dos recursos, o que na prática pode ser traduzido por “O que deve ser feito em primeiro lugar?” e “Qual a máquina a realizar tal tarefa?”.

Ao longo das últimas décadas, as unidades industriais experimentaram mudanças drásticas, o que levou a que os seus responsáveis fossem mudando o seu foco e os objetivos a que se propunham. A partir do momento em que a produção em série se instalou na indústria, esta ganhou foco na produção de grandes quantidades de um pequeno número de produtos diferentes, dando ênfase à capacidade para produzir em grande escala e à maximização da produtividade dos dispendiosos equipamentos fabris. Nesta fase da evolução do planeamento da produção, o planeamento era feito de forma bastante rudimentar, atentando apenas no momento de início de determinada ordem de produção e na data em que esta deveria estar concluída para entrega (Herrmann, 2006). Estes métodos pouco sofisticados de planeamento não deixaram de existir, havendo ainda muitas empresas nos mais variados ramos que fazem o seu planeamento apoiando-se em conhecimentos empíricos demonstrados pelos seus operadores, resultado da experiência adquirida no desenvolver da sua atividade.

O aumento da complexidade na indústria, devido à necessidade cada vez maior de produzir pequenas quantidades de uma grande variedade de ordens de fabrico, dependentes de uma quantidade significativa de parâmetros e em completo desacordo com as necessidades de mercado expressas até então, levou ao aparecimento de problemas que dificilmente poderiam ser otimizados de forma manual com sucesso.

Em processos produtivos com uma grande variedade de produtos, processos e níveis de produção, o correto e efetivo planeamento da produção pode levar a uma melhor coordenação das atividades no sentido de aumentar a produtividade minimizando, ao mesmo tempo, os custos de operação. O planeamento permite ainda identificar um possível conflito de recursos, controlar a libertação de ordens de fabrico na produção e ter a certeza que as matérias-primas são entregues atempadamente nos locais adequados; permite também saber se os prazos e as

condições de entrega do produto acordados com o cliente podem ser cumpridos e identificar períodos de tempo disponíveis para a manutenção preventiva dos equipamentos. O planeamento da produção dá aos operadores no chão de fábrica instruções específicas do que deve ser feito nos seus locais de trabalho para que os seus supervisores possam medir a sua *performance* (Herrmann, 2006).

Surge então a necessidade de desenvolver novos métodos de resolução deste tipo de problemas complexos, com ênfase nos que permitem uma compreensão simples por parte dos seus utilizadores, para que estes o possam facilmente adaptar a novos desafios no seu local de trabalho, sem que a empresa tenha a necessidade de fazer um grande investimento adicional na conceção e desenvolvimento destes métodos.

Programação Linear

Uma das técnicas mais utilizadas na resolução de problemas de otimização é a programação linear, que consiste na minimização ou maximização de uma função objetivo linear de diversas variáveis de decisão, sujeita a restrições representadas por equações e inequações lineares (Bertsimas e Tsitsiklis, 1997).

O sistema de expressões (2.2) apresenta a configuração geral de um problema de programação linear. Neste problema geral exemplificado,

é dado um vetor de custo $c = (c_1, \dots, c_n)$,

procurando-se minimizar uma função objetivo linear $f(x) = \sum_{i=1}^n c_i x_i$

através de todos os vetores n -dimensionais $x = (x_1, \dots, x_n)$,

sujeita a um conjunto de restrições lineares.

Sejam M_1, M_2, M_3 conjuntos finitos, e suponha-se que para cada i nestes conjuntos é dado um vetor n -dimensional a_i e um escalar b_i , que será usado para formar a restrição de ordem i .

Sejam ainda N_1 e N_2 subconjuntos de $\{1, \dots, n\}$ que indicam que variáveis x_j estão afetadas de condições de não-negatividade e não-positividade, respetivamente.

$$\begin{array}{ll}
 \text{Minimizar} & f(x) \\
 \text{Sujeito a} & a_i x \geq b_i, \quad i \in M_1, \\
 & a_i x \leq b_i, \quad i \in M_2, \\
 & a_i x = b_i, \quad i \in M_3, \\
 & x_j \geq 0, \quad j \in N_1, \\
 & x_j \leq 0, \quad j \in N_2.
 \end{array} \tag{2.2}$$

As variáveis x_1, \dots, x_n são as variáveis de decisão do problema, e um vetor x que satisfaça todas as restrições forma uma solução possível do problema. Uma solução possível x^* que minimize a função objetivo é chamada de solução ótima do problema (Bertsimas e Tsitsiklis, 1997).

3 Situação inicial

Neste capítulo, é apresentada uma análise pormenorizada do processo produtivo, com o objetivo de definir propostas de solução que consigam responder às necessidades identificadas.

3.1 O Processo produtivo de rolhas naturais

A unidade industrial de Lamas produz, tal como referido anteriormente, três tipos de rolhas distintas: rolhas naturais, rolhas colmatadas e rolhas *Acquamark*. Uma vez que este projeto se foca na produção de rolhas naturais, é apresentado na Figura 9 o processo produtivo deste tipo de rolhas.

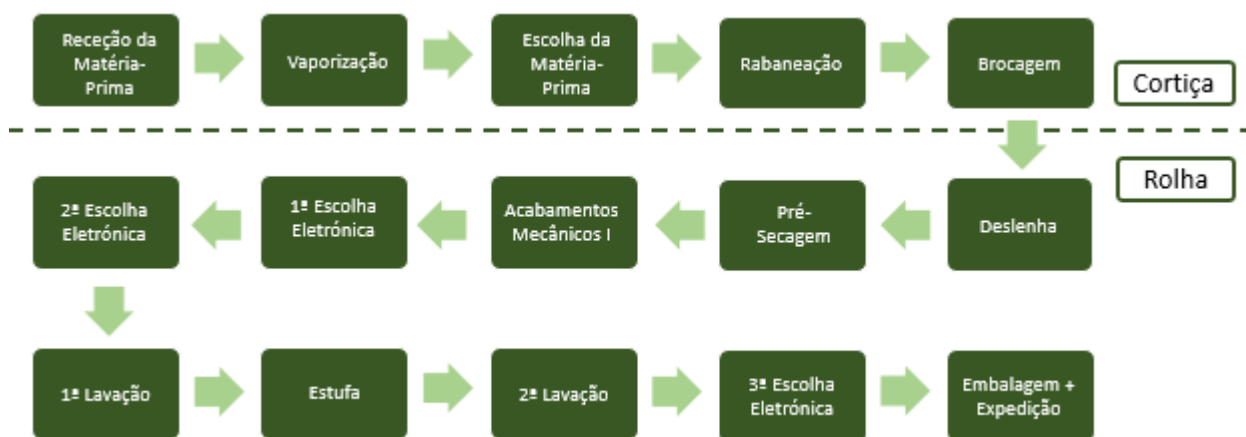


Figura 9 - Esquematização do processo produtivo de rolhas naturais

O esquema da Figura 9 sintetiza o que se compreende como o processo típico de produção de rolhas naturais. Existem situações pontuais nas quais este processo básico não é cumprido na sua totalidade, uma vez que os clientes podem colocar encomendas para rolhas apenas sujeitas a uma lavagem base (1ª lavagem), ou mesmo para rolhas sem qualquer tipo de lavagem. A remoção destas etapas do processo produtivo reduzirá, naturalmente, o *lead time* de entrega destes produtos; porém, estas operações foram incluídas na análise porque a grande maioria dos clientes exige a sua realização.

3.1.1 Descrição das operações

De seguida, é feita uma breve descrição das operações que compõem este processo produtivo, para que exista uma melhor contextualização do problema. O fluxo material e as características básicas das operações foram estudados através de inúmeras visitas ao chão de fábrica e interação com os operadores nos setores. Toda e qualquer movimentação entre operações é realizada através do comboio logístico que percorre a fábrica em intervalos de tempo regulares, recolhendo as rolhas que são armazenadas em contentores móveis no final das diversas operações. O transporte destes lotes é ainda auxiliado pelo trabalho das empilhadoras, que acomodam os contentores nos armazéns entre operações.

- Receção da matéria-prima

As pranchas de cortiça chegam ao estaleiro da unidade industrial de Lamas montadas em paletes provenientes das diversas unidades que constituem a Amorim Florestal. A operação de receção da matéria-prima consiste na descarga das paletes dos camiões, seguida de uma breve inspeção visual para verificar se a qualidade da cortiça apresentada em cada palete corresponde ao esperado. As paletes de cortiça são depois pesadas para registo dos valores de

humidade à chegada ao estaleiro, sendo também recolhidas amostras para medição dos níveis de tricloroanisol (TCA) na matéria-prima.

- Vaporização

Nesta etapa, as paletes são colocadas em tanques onde se conjuga vapor húmido e vapor seco, alternadamente ou em simultâneo, em ciclos de duração variável consoante os níveis de humidade apresentados pela cortiça.

O processo de vaporização tem como objetivo reduzir os níveis de TCA, composto químico responsável pelo odor a mofo da cortiça, na matéria-prima, assim como emprestar maleabilidade à mesma, para que a qualidade dos trabalhos mecânicos efetuados a jusante não fique comprometida.

- Escolha da Matéria-Prima

As pranchas de cortiça já vaporizadas são separadas em classes de acordo com a qualidade visual que apresentam, de forma a rentabilizar ao máximo a matéria-prima existente. Este processo permite atribuir uma maior diferenciação à matéria-prima e despistar possíveis erros de classificação das pranchas que até então só possuíam a classificação da Amorim Florestal.

- Rabaneação e Brocagem

A rabaneação consiste no corte das pranchas de cortiça em traços horizontais para que possam ser introduzidos nas brocas responsáveis pela produção das rolhas. Estes traços são produzidos com uma folga no seu diâmetro, sendo que as dimensões finais só são obtidas em operações posteriores.

As rolhas podem ser obtidas por um de três tipos de brocas: broca automática, broca a pedal ou broca semiautomática. Nestes dois últimos tipos de broca, os operadores detêm controlo total no movimento do traço que o seu equipamento está a perfurar, podendo desta forma evitar os defeitos naturais do mesmo e rentabilizar todo o seu comprimento, extraíndo desta forma rolhas de melhor qualidade (Figura 10 A). As brocas automáticas extraem rolhas com uma cadência de produção constante, sem olhar à qualidade do traço que se lhe apresenta, já que funcionam sem o envolvimento de qualquer elemento humano (Figura 10 B). Pode-se assim dizer que as brocas automáticas têm um foco na produção em volume, em contraste com as outras brocas, de menor capacidade e cuja utilização permite melhorar a qualidade do produto extraído.

O restante do traço que não é transformado em rolha é desperdício para esta unidade industrial, sendo retirado do processo e enviado para trituração.



Figura 10 - Traços perfurados em broca manual (A) e em broca automática (B)

- Deslenha

As rolhas produzidas nas brocas automáticas são conduzidas a equipamentos que avaliam a sua qualidade, procedendo a uma pré-seleção que consiste na remoção de rolhas de qualidade

muito fraca do lote. Esta operação é designada internamente como “deslenhar”, ou seja, o ato de retirar a “lenha” ou o desperdício de um lote de rolhas.

- Pré-Secagem

Concluídas as etapas anteriores, as rolhas obtidas em qualquer uma das brocas são transportadas para uma estufa, a ROSA 0, onde é feita a pré-secagem das mesmas. Esta operação, que envolve apenas o aumento de temperatura necessário para provocar uma secagem superficial das rolhas, é uma fase de preparação das rolhas para que a quantidade de defeitos induzidos pela operação seguinte, que envolve acabamentos mecânicos, seja reduzida ao mínimo.

- Acabamentos Mecânicos I e 1ª Escolha Eletrónica

Neste setor, existem 14 linhas com 3 máquinas cada. A primeira máquina de cada linha é responsável pelo polimento da rolha, enquanto a segunda procede ao corte dos seus topos. Estas duas operações constituem os acabamentos mecânicos que dão à rolha as suas dimensões finais.

Em cada linha, a topejadeira está também em linha com uma máquina de escolha eletrónica com visão artificial 2D, que separa as rolhas em classes industriais: AA, A, B e C, em ordem decrescente de qualidade. A Figura 11 apresenta as diferenças na qualidade visual de rolhas retiradas de um mesmo lote.



Figura 11 - Classes obtidas na 1ª Escolha Eletrónica: AA, A, B, C, repasse e apara

As rolhas podem também ser classificadas como apara ou repasse, sendo que as rolhas com a classificação de apara são consideradas desperdício e enviadas para trituração, sendo as rolhas do repasse reaproveitadas em etapas externas ao processo principal.

- 2ª Escolha Eletrónica

A operação da 2ª Escolha Eletrónica recebe da operação anterior rolhas das classes AA, A e algumas classes B, desdobrando-as agora em seis classes comerciais. São elas Flor, Extra, Superior, 1ª, 2ª e 3. Este setor pode também receber algumas rolhas provenientes do exterior, que são compradas para dar cobertura a alguma classe que esteja a rarear e para a qual exista procura por parte dos clientes. Após a 2ª Escolha Eletrónica, as rolhas são armazenadas num supermercado, a partir do qual o produto é puxado de acordo com as encomendas colocadas pelo cliente.

- Lavação e Estufa (*ROSA Evolution*)

A lavação é um processo que permite remover todos os resíduos de pó de cortiça das rolhas, podendo ainda conferir-lhes cor, de acordo com as especificações dos clientes e particularidades dos diversos mercados onde serão lançadas. Esta unidade industrial oferece seis tipos de lavação base, que serão sempre complementados com uma passagem numa estufa *ROSA Evolution*. Esta estufa despoleta um processo patenteado que diminui de forma significativa os níveis de TCA que eventualmente possam existir nas rolhas, secando-as de seguida.

- 3ª Escolha Eletrónica

Esta Escolha Eletrónica define a classe final do produto a enviar ao cliente. Assim, nesta operação são separadas do lote principal pequenas quantidades de rolhas que podem ser introduzidas na classe imediatamente acima ou abaixo daquela que ali foi colocada.

- Embalagem e Expedição

Na operação da embalagem, as rolhas são colocadas em equipamentos que verificam, mais uma vez, o seu calibre, e que as contam para sacos de forma a dar resposta às encomendas existentes. Os sacos são depois expedidos para o cliente ou armazenados como stock de produto acabado.

3.1.2 Classificação dos artigos

A cada artigo produzido na unidade industrial é atribuído um código composto por 3 elementos, que identifica os produtos de acordo com as suas características. Os critérios de diferenciação entre produtos são a dimensão da rolha, a sua classe e o tipo de lavação a que foi submetida. São de seguida indicadas algumas designações possíveis dos produtos, a título ilustrativo.

- 45X24 Extra *Clean C*
- 49X26 1ª *Light*
- 54X26 Flor Sem Lavar

Nesta nomenclatura, o primeiro elemento representa as dimensões físicas da rolha, referindo-se o primeiro algarismo ao seu comprimento e o segundo algarismo ao seu diâmetro, ambos expressos em milímetros. O segundo elemento refere-se à qualidade individual da rolha, sendo as unidades diferenciadas por Flor, Extra, Superior, 1ª, 2ª e 3ª, em ordem decrescente de qualidade. O terceiro e último elemento da designação das rolhas dá informação acerca do tipo de lavação a que esta foi submetida durante o seu processo produtivo, sendo que existem 6 tipos de lavação na unidade industrial, 3 tipos de revestimento (que corresponde na prática a uma segunda lavação) e ainda a possibilidade da rolha não ser lavada.

Internamente, os artigos também são acompanhados por uma ordem de fabrico. As ordens de fabrico nesta unidade industrial não seguem uma ordem sequencial, sendo atribuído um código numérico que alude à origem do lote, seja a produção interna, seja o reprocessamento do lote ou a compra do mesmo a entidade externas.

3.2 Capacidades das operações

Após a definição das características gerais de cada uma das etapas do processo produtivo, assim como dos artigos produzidos na unidade industrial, foi necessário complementar este conhecimento com dados reais da produção, obtidos a partir do sistema MRP existente.

Como este sistema se encontrava ainda na fase final de implementação aquando da realização do projeto, sendo que as operações até à brocagem (inclusive), acrescidos do setor da embalagem, ainda não dispunham de integração no novo sistema, o foco do estudo realizado nesta secção será nas operações entre a pré-secagem e a 3ª Escolha Eletrónica, inclusivamente.

Primeiramente, foram determinados quais os valores nominais de produção das máquinas existentes em cada setor. Nas máquinas que fazem escolha eletrónica, foi determinada a cadência máxima de produção das mesmas. Já nas máquinas de volume, caso das estufas ou máquinas de lavação, foi feita uma apreciação do nível expectável de produção.

Estas capacidades máximas foram afetadas de um fator de 80%, indicado pela empresa, que permitirá definir valores *standard* de produção, e que pretende ser uma aproximação ao melhor nível de operação. Estes valores serão então confrontados com os dados reais de produção, para determinação do nível de utilização da capacidade disponível no setor.

Neste exercício, considerou-se que um turno de trabalho tinha a duração de 8 horas, sendo que todas as operações estudadas em detalhe nesta secção produzem em 3 turnos diários. Os valores indicados não correspondem à realidade da empresa, por razões de confidencialidade de dados.

3.2.1 Capacidade da operação da pré-secagem

A operação pré-secagem é feita utilizando uma única estufa. Analisando os registos de produção, verifica-se que o valor máximo processado num dia foi de 4758×10^3 Un. A Tabela 1 sintetiza os valores utilizados no estudo desta operação.

Tabela 1 - Nível de utilização da capacidade na operação da pré-secagem

No setor	
Valor máximo registado num dia	4758×10^3 Un
Produção <i>standard</i> diária	3806×10^3 Un
Produção média real diária	2296×10^3 Un
Nível de utilização da capacidade do setor	60%

3.2.2 Capacidade do setor dos Acabamentos Mecânicos I

Este sector é constituído por 14 linhas de produção com 3 máquinas cada, que fazem as operações de polimento, topejamento e 1ª Escolha Eletrónica, que analisa as rolhas com recurso a câmaras 2D e as separa em classes industriais. Foi medida a cadência máxima nas máquinas de escolha eletrónica, a qual foi afetada do fator de 80% para obtenção de uma cadência *standard*, uma vez que as máquinas muito dificilmente conseguirão atingir valores nominais de produção. A Tabela 2 resume os dados obtidos a partir do estudo deste setor.

Tabela 2 - Nível de utilização da capacidade no setor dos Acabamentos Mecânicos I

Numa máquina	
Cadência nominal	165 rolhas/min
Cadência <i>standard</i>	133 rolhas/min
No setor	
Produção <i>standard</i> diária	2667×10^3 Un
Produção média real diária	2207×10^3 Un
Nível de utilização da capacidade do setor	83%

Verificou-se que cerca de 70% das rolhas produzidas neste setor, correspondentes às classes AA, A e B, de qualidade superior, continuavam no circuito de produção de rolhas naturais, prosseguindo deste setor para o armazém que abastece o setor da 2ª Escolha Eletrónica. As restantes rolhas sofrerão processos de reprocessamento, com vista à sua transformação em rolhas colmatadas ou rolhas *Acquamark*.

3.2.3 Capacidade do setor da 2ª Escolha Eletrónica

Existem neste setor 11 linhas produtivas, cada uma constituída por 2 máquinas. O primeiro equipamento de cada linha é denominado por SVE (Sistema de Vedação e Estanquicidade), que verifica se as rolhas têm a capacidade de vedar líquidos antes de prosseguirem para o equipamento seguinte, que analisa as rolhas com recurso a máquinas com visão artificial 3D e as segrega em classes comerciais.

Duas das linhas estão reservadas a rolhas de comprimento 26, enquanto as restantes produzem rolhas de comprimento 24. Verificaram-se valores diferentes das cadências destes dois calibres, o que pode ser explicado pelo facto de a empresa comprar regularmente rolhas de calibre 26 para dar resposta às suas necessidades. A introdução de rolhas com origens que não a produção própria aumenta a variabilidade na qualidade dos lotes a processar, o que leva a frequentes situações de paragens na produção devido à existência de maior quantidade de pó de cortiça ou de pequenos restos de aparas nos lotes.

A Tabela 3 apresenta as conclusões do estudo realizado neste setor.

Tabela 3 - Nível de utilização da capacidade no setor da 2ª Escolha Eletrónica

Numa máquina	
Cadência nominal	
Calibre 24	129 rolhas/min
Calibre 26	117 rolhas/min
Cadência <i>standard</i>	
Calibre 24	104 rolhas/min
Calibre 26	94 rolhas/min
No setor	
Produção <i>standard</i> diária	1612×10^3 Un
Produção média real diária	1582×10^3 Un
Nível de utilização da capacidade do setor	98%

3.2.4 Capacidade do setor da Lavação

O setor da lavação é constituído por 24 máquinas com diferentes capacidades, aos quais são alocadas rolhas que irão realizar programas de lavação com diferentes durações. Para o cálculo da capacidade deste setor, foram tidos em consideração dados como a alocação dos tipos de lavação às máquinas, durações dos programas e dimensões dos lotes consoante os calibres introduzidos nas máquinas. A Tabela 4 apresenta um resumo deste estudo.

Tabela 4 - Nível de utilização da capacidade no setor da Lavação

No setor	
Produção <i>standard</i> diária	5254×10^3 Un
Produção média real diária	4481×10^3 Un
Nível de utilização da capacidade do setor	85%

3.2.5 Capacidade das operações de Estufas

A operação de redução dos níveis de TCA nas rolhas pode ser realizada numa das 4 estufas ROSA *Evolution*. Analisando os registos de produção, verifica-se que o valor máximo produzido por uma estufa num dia foi de 1248×10^3 Un, apresentando-se na Tabela 5 os resultados da análise feita a esta operação.

Tabela 5 - Nível de utilização da capacidade nas operações de Estufas

No setor	
Valor máximo registado num dia	4992×10^3 Un
Produção <i>standard</i> diária	3994×10^3 Un
Produção média real diária	3371×10^3 Un
Nível de utilização da capacidade do setor	84%

3.2.6 Capacidade do setor da 3ª Escolha Eletrónica

Existem neste setor 14 máquinas com visão artificial 3D que fazem uma nova escolha para verificação da classe final a enviar ao cliente. Duas destas 14 máquinas constituem uma adição recente à fábrica, estando equipadas com um maior número de câmaras a auxiliar na classificação da classe visual de cada uma das rolhas, o que faz com que registem cadências mais elevadas do que as máquinas EE3D previamente mencionadas.

Por vezes, são também utilizadas máquinas da 4ª Escolha Eletrónica para auxiliar este setor, que normalmente estariam alocadas ao processamento de devoluções. No total, existem 12 máquinas EE3D e 5 máquinas-protótipo dedicadas à 3ª Escolha Eletrónica, sendo que se considera que 3 das máquinas-protótipo só o fazem durante metade do tempo, sendo a outra metade dedicada ao processamento de devoluções. A Tabela 6 apresenta as conclusões da análise feita a este setor, utilizando a designação “máquina-protótipo” para fazer referência às novas máquinas de escolha eletrónica equipadas com um maior número de câmaras.

Tabela 6 - Nível de utilização da capacidade no setor da 3ª Escolha Eletrónica

Numa máquina	
Cadência nominal	
Máquina “regular” EE3D	129 rolhas/min
Máquina-protótipo	156 rolhas/min
Cadência <i>standard</i>	
Máquina regular	104 rolhas/min
Máquina com câmaras	125 rolhas/min
No setor	
Produção <i>standard</i> diária	2322×10^3 Un
Produção média real diária	2009×10^3 Un
Nível de utilização da capacidade do setor	87%

3.3 Mapeamento do processo

Sendo este um processo produtivo longo e algo complexo, sentiu-se a necessidade de agregar toda a informação anteriormente obtida numa ferramenta bastante visual, o *Value Stream Mapping*, que é apresentado na Figura 12.

No VSM foram calculados os tempos de ciclo e os *lead times* de cada uma das operações do processo, sendo que os valores apresentados não correspondem à realidade da empresa, mais uma vez por questões de confidencialidade dos seus dados. Durante esta análise, os armazéns de produtos em vias de fabrico que alimentam cada uma das operações foram brevemente estudados, o que permitiu ter uma ideia do tamanho considerável dos mesmos e do número elevado de ordens de fabrico existentes a cada momento na fábrica.

Devido ao facto de as três primeiras operações lidarem com pranchas de cortiça ao invés de rolas, os valores conseguidos basearam-se em aproximações da equipa da Produção.

Através da análise do documento, consegue-se perceber que desde a primeira etapa do processo produtivo até ao final da operação da 2ª Escolha Eletrónica, a unidade industrial opera num sistema que é quase exclusivamente *push*. No final desta operação, os contentores são armazenados num supermercado, a partir do qual são planeadas as restantes operações do processo, tendo em consideração as ordens de encomenda existentes. Após validação do mapa junto dos responsáveis pela produção, verificou-se que o *lead time* total calculado correspondia de facto aos valores reais observados pela equipa da Produção, que o tinha avaliado entre 10 e 12 dias, atingindo o extremo máximo quando determinado lote tinha sido submetido a reprocessamentos.

A partir da partilha e análise deste documento com os responsáveis pelos diferentes setores, foi possível identificar oportunidades de melhoria, que se sintetizaram num outro VSM, disponível na Figura 13.

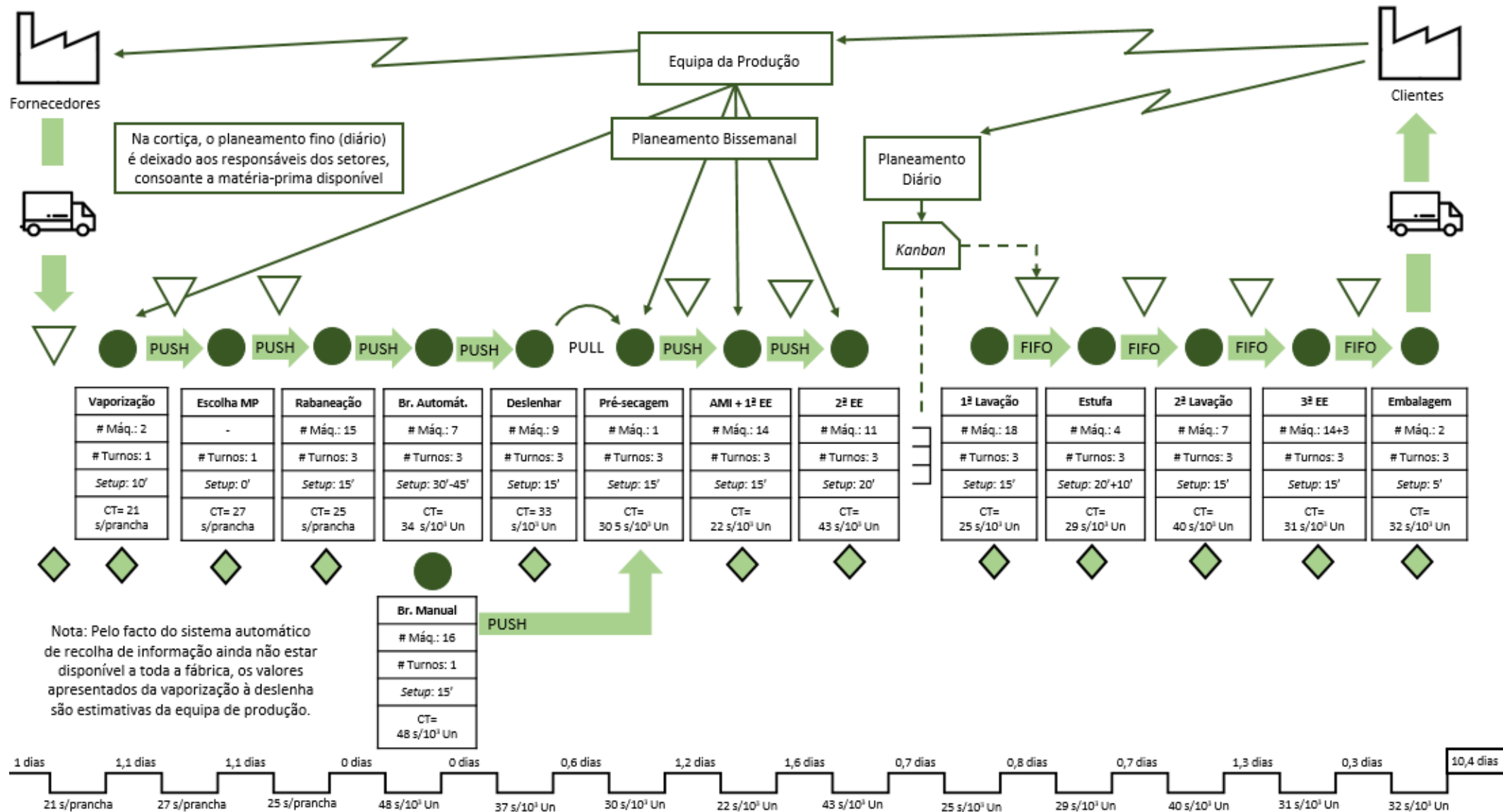


Figura 12 - Value Stream Mapping do processo produtivo

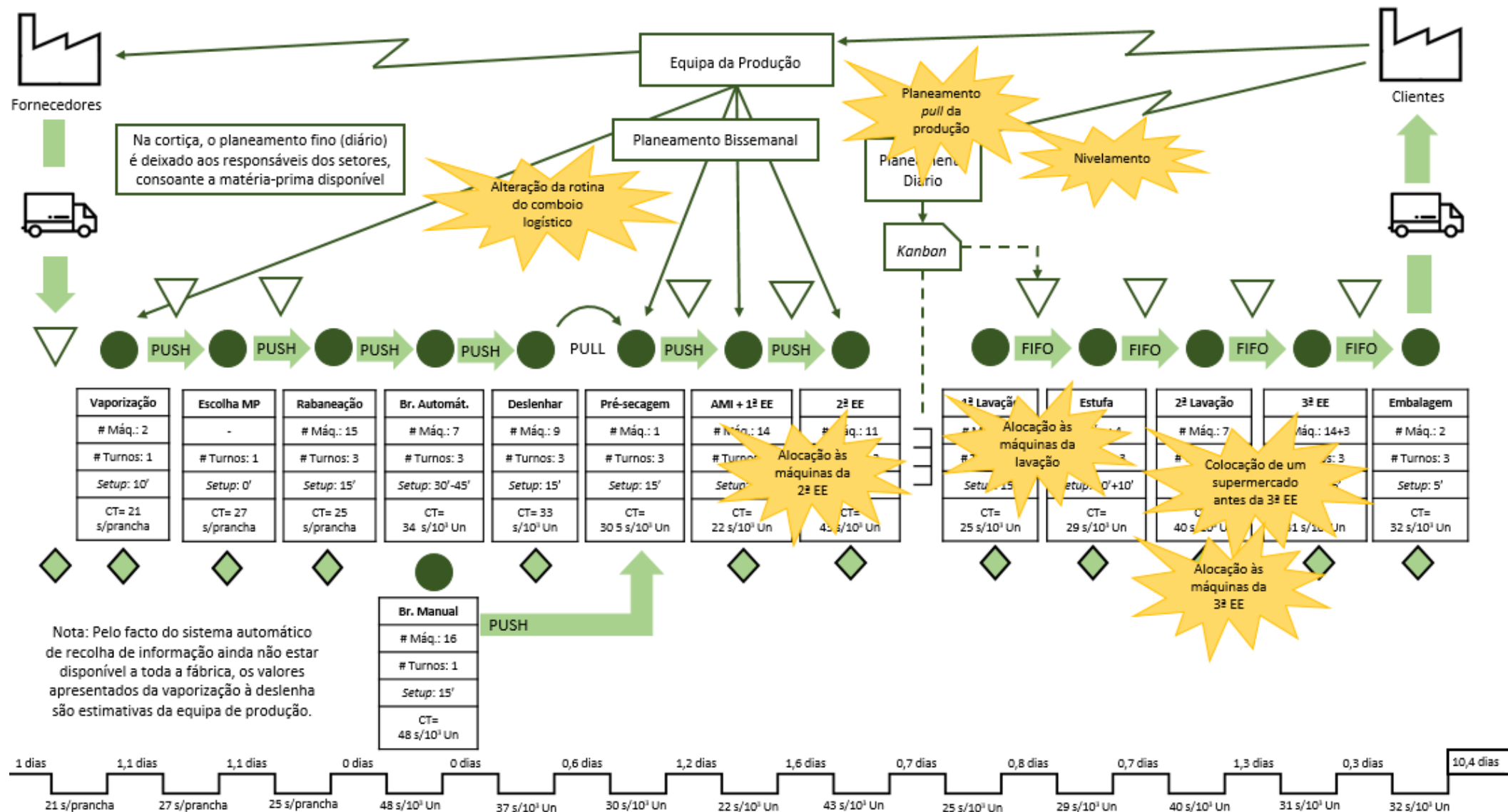


Figura 13 - Value Stream Mapping após identificação de possíveis melhorias

3.4 Identificação da restrição do processo

Na identificação do gargalo do processo produtivo, foram considerados os métodos previamente expostos na secção 2.2.3, aplicados porém a setores e a operações, ao invés de máquinas:

- O setor ou operação com a maior percentagem de utilização;
- O setor ou operação com maior percentagem de tempo de ciclo e ocorrência de falhas ou paragens na produção;
- O setor ou operação que está mais tempo ativo sem interrupção;
- O setor ou operação que tem em média a fila mais longa no seu abastecimento.

O subcapítulo 3.5 foi dedicado na sua totalidade ao cálculo da utilização da capacidade de setores e de operações, de onde se conclui que o setor da 2ª Escolha Eletrónica é de longe o mais utilizado, com uma taxa de utilização da capacidade a rondar os 98%.

Em relação ao tempo de ciclo das operações, é possível concluir após análise da Figura 12 que é também o setor da 2ª Escolha Eletrónica que apresenta um maior tempo de ciclo nos setores estudados.

Estas duas análises já permitiriam aferir qual seria o setor que constituiria o gargalo do processo produtivo; porém, procurou-se fazer também uma aproximação aos outros dois métodos listados. Analisando a distribuição das horas extra de trabalho aos fins-de-semana no último ano, utilizadas maioritariamente para redução de *stocks* em vias de fabrico, chega-se à conclusão que estas estão na sua grande maioria alocadas ao setor da 2ª Escolha Eletrónica. Esta informação permite inferir que este é o setor que está ativo durante mais tempo sem interrupção.

Em relação às filas de abastecimento, estudou-se a evolução da quantidade de rolhas em vias de fabrico ao longo do último ano em todos os setores que compõem o circuito considerado. Apesar de não ser este o setor com o maior WIP (essa distinção cabe ao armazém que abastece as estufas), o armazém que abastece a 2ª Escolha Eletrónica é consistentemente o segundo em tamanho no processo definido, rondando à data do desenvolvimento do projeto os 3 milhões e meio de unidades.

Por todas as razões explicitadas, o setor da 2ª Escolha Eletrónica foi considerado a restrição do processo produtivo de rolhas naturais. O fluxograma das suas atividades encontra-se representado na Figura 14, assim como as classes de rolhas que aqui são processadas e suas proveniências. Neste esquema, a sigla AMII significa “Acabamentos Mecânicos II”, constituindo o setor da fábrica onde são realizados todos os reprocessamentos com vista a reintroduzir no processo principal as rolhas em condições de serem reaproveitadas.

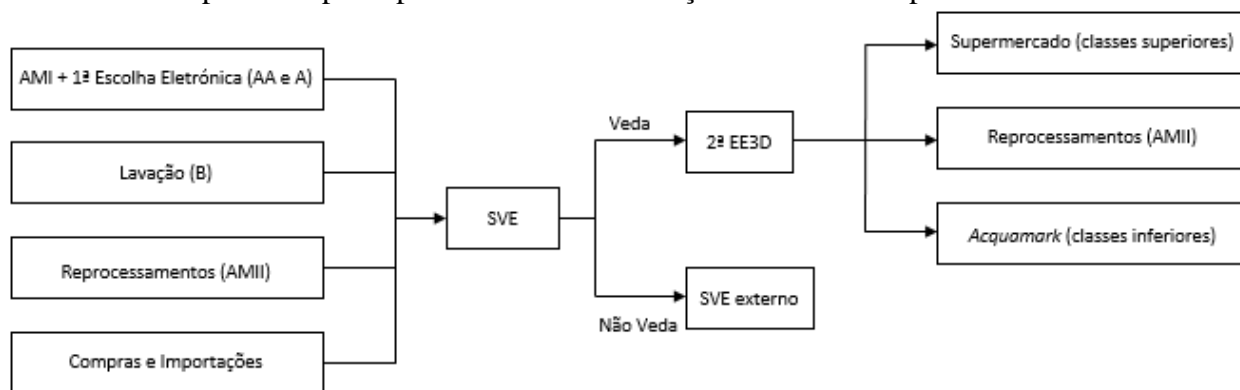


Figura 14 - Fluxograma do setor da 2ª Escolha Eletrónica

4 Descrição da solução proposta

A empresa pretende melhorar o seu planeamento das operações nos setores, integrando dados automáticos fornecidos pelo novo sistema de aquisição de informação. Começou-se por identificar o setor que mais beneficiaria do desenvolvimento de um novo modelo de alocação de produtos às máquinas, com base no conhecimento do processo adquirido até então. No final deste exercício, procedeu-se a um estudo mais aprofundado do setor escolhido, de forma a identificar os dados mais relevantes para o projeto.

Seguidamente, foram identificadas as variáveis de decisão a utilizar no problema de otimização, assim como as suas restrições e objetivos específicos aos quais se pretende atender, a partir dos quais foi construído o modelo.

Os dados extraídos da ferramenta desenvolvida foram convertidos em tabelas similares às atualmente utilizadas no planeamento, no sentido de auxiliar a integração da mesma e a comparação entre esta e o modelo atual na fase de levantamento de resultados.

4.1 Escolha do setor a otimizar

Durante o processo de seleção do setor a otimizar, foram tidas em consideração todas as informações recolhidas no diagnóstico efetuado. Por ter sido identificado como o gargalo do processo produtivo, o setor da 2ª Escolha Eletrónica constituiu, logo à partida, um forte candidato a esta seleção, ao que acresceu a observação, ainda durante o trabalho de apuramento de dados gerais no chão de fábrica, de que o processo de alocação às máquinas da 2ª Escolha Eletrónica constituía uma oportunidade de melhoria do sistema (Figura 13). Aliado a estes fatores, pesa ainda o facto de ser este o setor que maior valor acrescenta ao produto, uma vez que integra a operação de verificação da estanquicidade das rolhas, realizado pelas máquinas SVE, assim como a operação de separação das classes comerciais que ficarão à disposição do cliente.

Validada a escolha junto da Equipa da Produção, foi importante perceber de que forma esta geria o planeamento no setor da 2ª Escolha Eletrónica. Verificou-se que este era feito com recurso a um ficheiro em *Microsoft Excel*, cujo período de planeamento estava projetado para uma semana, e que não se encontrava ligado ao novo sistema de aquisição de dados PPAI. A ferramenta acedia apenas às existências em armazém registadas no final de cada dia, não existindo por isso uma atualização constante da informação. Para responder a esta lacuna, o ficheiro utilizava um método de previsão da chegada de cada tipo de rolha ao armazém de abastecimento da 2ª Escolha Eletrónica ao longo da semana. Recentemente, a equipa tinha começado a ajustar o seu planeamento a meio da semana, por achar que a situação real no terreno diferia bastante do planeamento realizado.

Conhecidas as maiores fragilidades do método de planeamento utilizado, procedeu-se à obtenção de um ficheiro em *Microsoft Excel* que explicitasse a cada momento as quantidades de rolhas existentes no armazém que abastece o setor da 2ª Escolha Eletrónica. As rolhas a alocar às linhas do setor estão nesta fase do processo identificadas por uma referência na forma “[comprimento]X[diâmetro]”, em milímetros, acrescida da classe industrial correspondente. As rolhas estão ainda identificadas pela sua ordem de fabrico, puramente relacionada com a origem da matéria-prima. Um exemplo da identificação completa de um lote de rolhas será “45X24 A da OF 604524” e pode ser observado na Figura 15.



Figura 15 - Contentores à saída da 1ª Escolha Eletrónica, com a respetiva referência e ordem de fabrico

Uma análise a estes dados permitiu identificar entre 50 a 90 ordens de fabrico existentes no armazém a cada momento. A fim de se reduzir a complexidade do problema, foi necessário realizar um estudo inicial destas ordens de fabrico, procurando agregá-las nas referências mais utilizadas no setor e identificando limites mínimos dos lotes a serem considerados para produção (Anexo A).

4.2 Referências utilizadas no setor

O processo de agregação das ordens de fabrico nas diversas referências começou pela identificação das referências mais utilizadas no setor. O fluxo produtivo previamente estudado determina que as rolhas das classes AA, A e algumas classes B sejam transportadas desde a operação da 1ª Escolha Eletrónica até ao armazém que abastece a operação da 2ª Escolha Eletrónica. A Tabela 7 explicita as referências que são movidas diretamente entre estas duas operações.

Tabela 7 - Referências no armazém da 2ª Escolha Eletrónica, provenientes da 1ªEE

45X24	49X24	45X26	49X26	54X24	54X26
AA	AA	AA	AA	AA	AA
A	A	A	A	A	
B	B				

Para além das rolhas que viajam no circuito regular estudado, o armazém que abastece o setor da 2ª Escolha Eletrónica recebe também rolhas de comprimentos 45 e 38, assim como alguns calibres especiais, de dimensões pouco usuais. Segundo dados históricos da produção, as referências apresentadas na Tabela 7 correspondem a 70% da produção no setor da 2ª Escolha Eletrónica, tendo sido estas as referências escolhidas para a definição do modelo.

A agregação das diversas ordens de fabrico nas referências indicadas permitiu diminuir de uma forma consistente entre 80 e 85% do número de dados a ter em consideração, o que reduziu drasticamente a complexidade e a dimensão do problema em mãos.

Fisicamente, os contentores contendo as rolhas são armazenados num local próximo das bocas de alimentação das moegas, onde serão introduzidos. A Figura 16 mostra este local, onde os contentores são empilhados.



Figura 16 - Armazém que alimenta a 2ª Escolha Eletrônica

De referir que, tal como é visível na Figura 16, os contentores contêm marcações vermelhas que indicam o volume ideal a ser transportado nos mesmos. Devido às diferentes dimensões possíveis para as rolhas, este volume irá traduzir-se em diferentes tamanhos de lotes transportar, sendo que o tamanho de lote mais pequeno que atualmente circula na fábrica é o de calibre 54X26, com um tamanho de lote correspondente a 14×10^3 Un.

4.3 Produção nos grupos de máquinas

As regras de alocação em vigor no setor ditam que 2 das 11 máquinas disponíveis sejam utilizadas para rolhas de diâmetro 26, estando as restantes máquinas normalmente reservadas à produção de rolhas de diâmetro 24. Considerando que as rolhas de diâmetro 26 correspondem a 16% da produção no setor, julgou-se oportuno manter esta distribuição entre os dois grupos de máquinas.

Considerou-se que a melhor forma de abordar o problema de planeamento passava por realizar processamentos contínuos de lotes em cada linha em cada um dos 3 turnos diários, deixando eventuais *setups* de produção para a mudança de turno. Os dados históricos da produção revelam a produção por turno de cada grupo de máquinas, que se encontra representada na Tabela 8.

Tabela 8 - Capacidade produtiva das máquinas da 2ª Escolha Eletrônica por turno

Conjunto de Máquinas	Calibre típico	Produção média por turno ($\times 10^3$ Un)
1 e 2	26	55,6
3 a 11	24	62,6

Desta forma, ficou decidido que o tamanho de lote mínimo existente em armazém para que este possa ser alocado à produção será de 56×10^3 Un para os lotes de rolhas de diâmetro 26 e 63×10^3 Un para os lotes de rolhas de diâmetro 24. A alocação de lotes de quantidade inferior às indicadas poderá ser feita em situações pontuais a decidir pela Equipa da Produção, constituindo cenários não considerados na conceção deste modelo de otimização.

Sabendo que o tamanho mínimo de lote que atualmente circula na fábrica é de 14×10^3 Un, correspondente ao calibre de maiores dimensões (54X26), a escolha dos valores anteriores como sendo os mínimos para que determinada ordem de fabrico seja elegível para alocação

permite também desconsiderar possíveis erros que existam no novo sistema ainda em processo de afinação, que vão permitindo a existência de pequenos lotes de quantidades irrisórias em armazém.

4.4 Cadências registadas nas máquinas

Pretendeu-se saber qual o efeito que a introdução de diferentes calibres e de diferentes classes nas máquinas terá na quantidade produzida. Durante uma semana, foram feitos ensaios de 15 minutos, cujos resultados se encontram reproduzidos na Tabela 9. Não tendo sido registadas diferenças significativas entre as 5 referências de diâmetro 26, nem entre as referências de diâmetro 24 (excluindo as classes B), foram considerados os maiores valores medidos.

Tabela 9 - Cadência média por referência, tendo em conta a classe industrial

Diâmetro	Classe (s)	Cadência média (nº de rolhas/s)
24	AA e A	2,19
24	B	2,01
26	AA e A	1,88

Estes dados vão de encontro a conhecimentos empíricos do processo, que nos dizem que as rolhas da classe B, que foram submetidas a uma lavação por apresentarem qualidade mais fraca, terão uma cadência inferior por terem menor aderência.

Da mesma forma, é sabido que a maior parte das rolhas compradas que são introduzidas neste setor são de calibre 26 e a inconsistência da origem e da qualidade reflete-se nas relativamente baixas cadências das máquinas alocadas a este diâmetro, já que os dois equipamentos fazem mais pausas na produção.

4.5 Paragens na produção

Os equipamentos podem sofrer diversos tipos de problemas, que provocam paragens e perdas de produção na 2ª Escolha Eletrónica. A Tabela 10 resume as situações que mais vezes se verificaram durante o período de observação.

Tabela 10 - Paragem da produção nos equipamentos da 2ª Escolha Eletrónica

Fator afetado	Tipo de problema	Ocorrências
Disponibilidade da linha	Falha humana	Falta de contentores Falta de cestos verdes Falta de rolhas
	Avarias	Avaria do SVE Avaria da EE3D
	<i>Setups</i>	<i>Setup</i>
Eficiência da linha	Pequenas paragens	Encravamento no SVE Encravamento no tapete Cestos/sacos/contentores cheios Reinício do sistema informático

A maioria das paragens identificadas são resolvidas de forma autónoma pelo equipamento, que retoma a sua atividade ao fim de poucos segundos. Os efeitos destas pequenas paragens estão já contemplados nas cadências apresentadas na Tabela 9, pelo que estas paragens na produção não foram consideradas como dados do modelo a implementar.

Durante o período de observação, foi possível concluir que das pequenas paragens que influenciam a produtividade da linha, a mais problemática é a do encravamento do SVE, que requer intervenção do operador para sua resolução. Esta paragem é mais frequente nos equipamentos que lidam com rolhas da classe B (lavadas), levando a períodos de paragem até aos 20 minutos. A falha humana que se reflete na falta de rolhas, cestos verdes ou contentores, também não será considerada, uma vez que estas pausas na produção ficam bem aquém dos 2 minutos.

4.5.1 Setups na produção

Os períodos mais longos de paragens das linhas devem-se a *setups* da produção, que podem corresponder a uma mudança de classe ou mudança de calibre (comprimento e diâmetro). A fim de determinar o impacto destas pausas na produção, foram também estudados os *setups* na produção. As Figuras 17 e 18 mostram o *layout* deste setor, para auxiliar na compreensão do processo de mudança de ordem de produção.



Figura 17 - Lote alocado a uma linha produtiva, que vai sendo introduzido numa moega



Figura 18 - Layout do setor da 2ª Escolha Eletrónica

O procedimento para o *setup* de mudança de classe numa linha inclui os seguintes passos:

- 1) Colocação de sinalética no patamar superior a indicar que o lote introduzido na moega está a chegar ao fim. Este passo é feito atempadamente, entre 30 a 45 minutos antes do fim previsto para o lote, para que possa haver preparação da equipa no andar inferior;
- 2) Colocação de contentores vazios junto dos já utilizados no local por parte dos operadores do patamar de baixo, com o objetivo de potenciar uma troca mais rápida;
- 3) Esvaziamento da moega e paragem subsequente do SVE, quando este deixa de receber rolhas para produção;
- 4) Alerta por via de sinais sonoros e visuais para a paragem do SVE, o que leva a que os operadores no patamar inferior procedam à troca de contentores e de cestos verdes;
- 5) Registo dos valores da produção;
- 6) Breve limpeza da máquina da 2ª Escolha Eletrónica;
- 7) Indicação ao operador do patamar superior de que pode introduzir um novo lote na moega e reinício das máquinas SVE.

O processo de mudança de lotes com diferentes dimensões implica a introdução de calhas diferentes na máquina SVE, o que pode levar à espera por parte dos operadores de elementos da equipa da manutenção, se o processo não for devidamente preparado durante o passo 1).

4.5.2 Outras paragens na produção

Durante o período de observação, foi possível identificar pausas de outra natureza na produção, como por exemplo a possível incompatibilidade do planeamento da produção com as existências em armazém, o que levava a atrasos na colocação dos lotes nas moegas enquanto os operadores esperam por novas ordens por parte da Equipa da Produção. Supõe-se que estas inconsistências do modelo sejam mais frequentes no final do período de planeamento, ao seja, ao longo do terceiro dia de produção, devido ao facto de o modelo atual não funcionar com os valores correspondentes às quantidades efetivas existentes no armazém que abastece a 2ª Escolha Eletrónica.

4.6 Construção do modelo

Após o estudo da operação em questão, agregou-se toda a informação obtida, que foi organizada no modelo de otimização.

4.6.1 Dados a utilizar no modelo

Consideraram-se como dados do modelo de otimização os seguintes fatores:

- Cadência das máquinas para cada referência

Esta informação foi previamente apresentada Tabela 8. Não foi objeto de estudo desta dissertação saber qual a influência que a escolha de determinada referência para um equipamento terá na cadência de produção, tratando pois todas as máquinas como sendo a mesma em termos de cadência, mesmo sabendo que tal não corresponde à realidade. Para tentar responder a estas diferenças, foram utilizados alguns dados empíricos para determinação de preferências na alocação das máquinas.

Os dados constantes da Tabela 8 foram convertidos para horas necessárias à produção de 1000 rolhas, para que fosse mantida a consistência de unidades ao longo do modelo. Estes

dados aparecem no modelo com a designação Cad_r , na qual r se refere a cada uma das 13 referências a alocar no setor.

- Preferência na alocação das máquinas

Tal como referido anteriormente, decidiu-se manter a exclusividade das máquinas 1 e 2 para rolhas de diâmetro 26, uma vez que as duas máquinas conseguem dar resposta ao volume de produção exigido pelas 5 referências com este diâmetro.

Após discussão com o responsável pelo enchimento das moegas com os lotes respetivos, foram identificadas mais preferências na alocação das referências às linhas e de máquinas, que se decidiram manter devido ao facto de constituírem conhecimento empírico do funcionamento do processo. Atualmente, existe uma elevada preferência pela alocação de referências de calibre 24X24 à máquina 11, assim como da classe AA de calibre 49X24. Para além disso, a máquina 6 lida quase exclusivamente com classes AA de diâmetro 24, sendo que as máquinas 8 e 9 são largamente utilizadas no processamento de rolhas da classe B.

Para dar resposta a esta preferência na alocação das máquinas que efetivamente ocorre no terreno, foi construída uma matriz de preferências, de valores $Pref_{mr}$, que atribui a cada combinação máquina-referência um número da escala 0-3, na qual valores mais altos correspondem a preferências maiores e $Pref_{mr} = 0$ se a máquina não for adequada à referência. A Figura 19 mostra de que forma se caracterizaram estas preferências.

Dados

Cad_r cadência das máquinas para cada referência													
45X24	45X24	45X24	49X24	49X24	49X24	54X24	54X24	45X26	45X26	49X26	49X26	54X26	
AA	A	B	AA	A	B	AA	A	AA	A	AA	A	AA	
Ref1	Ref2	Ref3	Ref4	Ref5	Ref6	Ref7	Ref8	Ref9	Ref10	Ref11	Ref12	Ref13	
0,127	0,127	0,138	0,127	0,127	0,138	0,127	0,127	0,148	0,148	0,148	0,148	0,148	horas necessárias à produção de 1000 rolhas

Pref_mr preferência para utilização da máquina m na produção da referência r													
m1	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	
m2	0	0	0	0	0	0	0	3	3	3	3	3	
m3	2	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	
m4	2	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	
m5	2	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	
m6	3	1	1	3	1	1	0	0	0	0	0	0	
m7	2	2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	0	
m8	1	1	3	1	1	3	0	0	0	0	0	0	
m9	1	1	3	1	1	3	0	0	0	0	0	0	
m10	2	2	1	2	2	1	0	0	0	0	0	0	
m11	1	1	1	3	1	1	3	3	0	0	0	0	

0	Não adequado
1	Mau
2	Adequado
3	Bom

Figura 19 - Matriz de preferências na alocação das referências às linhas de máquinas

- Capacidade de cada máquina no período considerado

Esta capacidade em horas pretende responder a situações nas quais se sabe com alguma antecedência que uma ou mais máquinas irão estar indisponíveis durante um período prolongado de tempo, devido a avaria, utilização da capacidade para processamento de lotes correspondentes a provas laboratoriais ou procedimentos mais ou menos demorados de manutenção dos equipamentos. Estes dados aparecem no modelo com a designação Cap_m , na qual m se refere a cada uma das 11 máquinas existentes no setor.

- Orçamento anual para cada referência

Sendo este um processo produtivo predominantemente do tipo *push*, não se sabe exatamente quantas rolhas de cada referência chegarão ao armazém de abastecimento da 2ª Escolha Eletrónica. Utiliza-se o orçamento anual para cada referência para que se possa saber o que é expectável produzir de cada referência em determinados períodos de tempo. Estes dados

aparecem no modelo com a designação Orc_r , na qual r se refere a cada uma das 13 referências a alocar no setor.

- Quantidade em *stock* da referência

Tal como referido, foi criado um ficheiro em *Microsoft Excel* que extrai a cada momento do novo sistema de agregação de informação as quantidades de todas as referências. Estes dados aparecem no modelo com a designação S_r , na qual r se refere a cada uma das 13 referências a alocar no setor.

- Quantidade produzida da referência nos últimos meses

Confrontando os dados de produção dos últimos meses com o expectável produzir segundo o orçamento anual, é possível ir ajustando a produção aos valores previstos no orçamento, de forma a não deixar que a produção de determinada referência se torne muito elevada em detrimento de outras. Estes dados aparecem no modelo com a designação $Prod_r$, na qual r se refere a cada uma das 13 referências a alocar no setor. Foi considerado um fator de anualização do período de tempo considerado, neste caso, um fator de anualização 4 para a produção nos últimos 3 meses, que se representa como $Anual_r$, sujeita à expressão 4.1.

$$Anual_r = Prod_r \times \text{fator de anualização} \quad (4.1)$$

Foi também considerada a quantidade em falta em relação ao orçamento anual, representada como $FaltaOrc_r$ e sujeita à expressão 4.2.

$$FaltaOrc_r = \begin{cases} 0 & \text{se } Anual_r > Orc_r \\ Orc_r - Anual_r & \text{se } Anual_r \leq Orc_r \end{cases} \quad (4.2)$$

A interação entre os dados considerados pode ser verificada na Figura 20, que apresenta um exemplo de uma instância tratada com recurso ao modelo desenvolvido.

Orc_r	orçamento anual para cada referência r												
	32 018	152 976	74 094	40 554	81 107	50 109	6 639	2 431	9 096	21 631	17 843	33 631	16 231
S_r	quantidade em stock da referência r												
	80	535	283	270	260	289	0	0	101	0	0	108	0
$Prod_r$	quantidade produzida da referência r nos últimos 3 meses												
	9 631	29 326	10 198	12 563	17 965	8 554	2 004	0	990	4 446	4 161	5 107	614
	Fator de anualização 4												
$Anual_r$	anualização da produção da referência r												
	38 763	117 305	40 791	50 252	71 860	34 216	8 015	0	3 958	17 785	16 644	20 428	2 458
	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0
	(0 se ultrapassou o orçamento anual e 1 caso contrário) $_r$												
$FaltaOrc_r$	quantidade produzida a menos da referência r												
	-6 745	35 671	33 303	-9 699	9 247	15 893	-1376	2 431	5 138	3 906	1 200	13 263	-834
	0	35 671	33 303	0	9 247	15 893	0	2 431	5 138	3 906	1 200	13 263	0
	(0 se ultrapassou o orçamento e 1 caso contrário) $_r$ * $FaltaOrc_r$												
	Big M 1000												

Figura 20 - Exemplificação dos dados a utilizar no modelo

4.6.2 Variáveis de decisão

Neste problema, a variável de decisão foi definida como X_{mr} , ou seja, a quantidade da referência r , em milhares, a produzir na máquina m , sendo que $X_{mr} = 0$ se $Pref_{mr} = 0$. Neste problema, $m \in \{1, 2, \dots, 11\}$ e $r \in \{1, 2, \dots, 13\}$.

4.6.3 Restrições

Foram consideradas duas restrições na definição do problema. São elas a impossibilidade de produzir mais que a quantidade existente de determinada referência no armazém e a condicionante relacionada com a capacidade, em horas, disponível em cada uma das máquinas. Estas restrições encontram-se explicitadas nas expressões 4.3 a 4.5.

- Restrições relacionadas com a quantidade de cada referência existente em armazém:

$$\forall r \in \{1, 2, \dots, 13\} \sum_{m=1}^{11} X_{mr} \leq S_r \quad (4.3)$$

- Restrições relacionadas com a capacidade horária disponível em cada linha:

$$\forall m \in \{1, 2, \dots, 11\} \sum_{r=1}^{13} Cad_r X_{mr} \leq Cap_m \quad (4.4)$$

- Restrição de não-negatividade:

$$X_{mr} \geq 0, \forall m \in \{1, 2, \dots, 11\}, r \in \{1, 2, \dots, 13\} \quad (4.5)$$

4.6.4 Objetivos

A solução deste modelo passa pela maximização de dois objetivos principais, relacionados com o ajuste da produção ao orçamento anual e com as preferências previamente definidas de alocação das referências às linhas de máquinas. Desta forma, é esperado que o modelo incentive a produção de determinada referência se esta estiver abaixo do valor expectável na altura do ano correspondente, ao mesmo tempo que responde às preferências indicadas na matriz apresentada na Figura 19. A função objetivo considerada para este problema está articulada na expressão 4.6. Consideram-se as ponderações f_{orc} e f_{pref} que permitem dar um maior peso a um objetivo ou o outro e que poderão tomar o valor zero para um objetivo se se pretender maximizar apenas o outro objetivo.

- Função objetivo:

$$Max \quad f_{orc} \cdot \sum_{m=1}^{11} \sum_{r=1}^{13} X_{mr} \cdot FaltaOrc_r + f_{pref} \cdot \sum_{m=1}^{11} \sum_{r=1}^{13} X_{mr} \cdot Pref_{mr} \quad (4.6)$$

A utilização da ferramenta apresenta os resultados em forma de matriz, tal como se apresenta na Figura 21.

Variáveis de decisão

Quant_rm quantidade da referência r a produzir na máquina m no período de planeamento

	Ref1	Ref2	Ref3	Ref4	Ref5	Ref6	Ref7	Ref8	Ref9	Ref10	Ref11	Ref12	Ref13
m1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	162,1	0
m2	0	0	0	0	0	0	0	0	15,93	0	0	146,1	0
m3	0	0	0	0	189	0	0	0	0	0	0	0	0
m4	0	149,27	29,75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m5	0	0	0	0	189	0	0	0	0	0	0	0	0
m6	0	0	0	189	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m7	0	0	0	0	189	0	0	0	0	0	0	0	0
m8	0	0	0	0	0	173,9	0	0	0	0	0	0	0
m9	0	0	59,51	0	0	114,2	0	0	0	0	0	0	0
m10	0	188,98	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
m11	0	0	68,89	24,31	0	0	89,59	0	0	0	0	0	0

Figura 21 - Matriz resultado do modelo de otimização

4.7 Planeamento

Os resultados apresentados na Figura 21 foram convertidos em duas tabelas que facilitam a visualização e compreensão dos mesmos. Estas tabelas indicam o planeamento a ser feito num determinado dia, indicando a produção a efetuar durante cada um dos 3 turnos de trabalho. Estas tabelas podem ser consultadas no Anexo B.

4.8 Resultados

Durante uma semana, foram realizados ensaios no sentido de apurar o funcionamento do novo modelo quando comparado com o já existente. Os dados do modelo de programação linear desenvolvido não conduziram a alterações no terreno durante o período de experimentação.

Verificou-se que o modelo desenvolvido mostrava coerência e conformava-se às regras impostas durante a sua definição. A alocação real no terreno encontrava-se, obviamente, mais próxima à da alocação indicada pelo ficheiro de planeamento já existente, uma vez que se encontra subordinada ao mesmo. Porém, ficaram confirmadas as suspeitas de que o planeamento realizado bissemanalmente apresentava lacunas, na medida em que se verificou que no terceiro dia de produção não existia quantidade suficiente das referências alocadas durante o planeamento, devido ao facto de este ter sido feito com recurso a projeções. Esta situação pode ser visualizada na Figura 22.

Dia 9									
Planeamento Previsto por turno					Alocação real				
Calibre	Classe	T1	T2	T3	Calibre	Classe	T1	T2	T3
45X24	AA	0	0	0	45X24	AA	1	1	1
45X24	A	2	2	2	45X24	A	1	1	1
45X24	B	1	1	1	45X24	B	1	1	1
49X24	AA	2	2	2	49X24	AA	1	1	1
49X24	A	3	3	3	49X24	A	1	1	1
49X24	B	1	1	1	49X24	B	2	2	2
45X26	AA	1	1	1	45X26	AA	1	1	1
45X26	A	0	0	0	45X26	A	2	2	2
49X26	AA	0	0	0	49X26	AA	0	0	0
49X26	A	0	0	0	49X26	A	0	0	0
54X24	AA	0	0	0	54X24	AA	0	0	0
54X24	A	0	0	0	54X24	A	0	0	0
54X26	AA	1	1	1	54X26	AA	1	1	1
		11	11	11			11	11	11

Figura 22 - Constatação da não aderência ao planeamento na produção do terceiro dia

Como consequência da não utilização de dados atualizados das quantidades em armazém de cada referência, verificou-se no chão de fábrica que, no terceiro dia de cada planeamento bissemanal, ocorriam bastantes alterações ao planeamento por parte do operador que transporta os contentores para a moega, o que introduzia complicações no processo quando este não tinha nenhum elemento da Equipa da Produção disponível para o auxiliar. Como a Figura 23 evidencia, o novo modelo de planeamento é capaz de identificar situações nas quais as capacidades em armazém não são suficientes para preencher 3 turnos de produção.

Planeamento

Por Máquina

Quantidade disponível em armazém

45X24	AA	0
45X24	A	736,166
45X24	B	460
49X24	AA	172
49X24	A	408,378
49X24	B	108
45X26	AA	0
45X26	A	76,523
49X26	AA	0
49X26	A	0
54X24	AA	80
54X24	A	0
54X26	AA	0

Dia Selecionado

12/1

	Calibre	Classe	Qtd a prod (ML)	n turnos	
m1	49X26	A	108,341	56	1,9
	45X26	AA	53,712		1
m2	45X26	AA	47,196	56	0,8
	-	-	-		0
m3	45X24	B	115,978	63	1,8
	45X24	A	62,588		1
m4	45X24	B	108,138	63	1,7
	49X24	A	71,132		1,1
m5	49X24	A	188,976	63	3
	-	-	-		0
m6	45X24	A	94,819	63	1,5
	45X24	AA	80,281		1,3
m7	45X24	A	188,976	63	3
	-	-	-		0
m8	49X24	B	114,928	63	1,8
	45X24	B	58,815		0,9
m9	49X24	B	173,913	63	2,8
	-	-	-		0
m10	45X24	A	188,976	63	3
	-	-	-		0
m11	49X24	AA	188,976	63	3
	-	-	-		0

Figura 23 - Constatação da falta de rolhas para preenchimento de um turno completo

Durante o período de observação, verificou-se que esta situação era mais comum para as referências de rolhas com diâmetro 26, que sofrem alguma flutuação nas quantidades existentes em armazém, devido a atrasos na entrega dos lotes por parte de fornecedores.

A utilização do modelo de otimização terá então a vantagem de identificar atempadamente situações mais delicadas na alocação, permitindo ao planeador fazer as alterações que achar relevantes, não deixando desta forma a responsabilidade de decidir o que produzir nas mãos do operador no terreno.

Para além destas situações, que se verificou poderem ser rapidamente identificadas pelo novo modelo de otimização e, dessa forma, mais facilmente resolvidas, também se constatou que a ferramenta desenvolvida ia apresentando ordens de produção semelhantes ao longo dos dias, reduzindo desta forma os *setups* a realizar em cada dia.

A utilização da ferramenta desenvolvida permite dar resposta a um problema complexo de uma forma rápida, uma vez que o programa encontra a solução em milésimos de segundo. A utilização do *software Microsoft Excel* procurou a integração mais fácil da ferramenta nos métodos de gestão e planeamento utilizados pela empresa, que o usa quase exclusivamente no seu dia-a-dia. Por fim, a utilização do método *simplex* permite aos planeadores fazerem as alterações ao modelo que acharem necessárias, ou atualizando os dados de entrada ou acrescentando novas informações ao mesmo. Com recurso a este método foi, então, possível obter uma ferramenta facilmente customizada sem que houvesse necessidade por parte da empresa de fazer qualquer tipo de investimento adicional.

5 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

O projeto de dissertação desenvolvido partiu do interesse da Amorim & Irmãos em melhorar o seu processo produtivo como um todo, com o objetivo último de aumentar a produtividade nos setores e nos transportes entre os mesmos. Verificou-se porém, que a consumação de tão ambicioso projeto teria que passar obrigatoriamente por um período considerável de análise ao processo produtivo, procurando identificar as suas maiores lacunas e as oportunidades de melhoria que se apresentavam.

Desta forma, considera-se que um ponto forte do trabalho desenvolvido está precisamente no diagnóstico realizado ao processo produtivo que permitiu, para além de uma facilitada integração na cultura da empresa e de uma rápida absorção de conhecimentos relacionados com a produção de rolhas, a identificação numa visão macro de qual o processo que estaria a restringir o potencial produtivo do sistema. Considerou-se que o gargalo do processo seria o ponto ideal para o início desta fase de melhorias profundas na qual a empresa está neste momento a apostar, por ser aquele cuja melhoria mais beneficiaria o processo como um todo.

Sugere-se, assim, que a empresa utilize todo o conhecimento obtido no diagnóstico feito às suas operações que correspondeu à primeira metade deste projeto, para que possa aplicar de forma sequencial as oportunidades de melhoria identificadas no processo produtivo principal.

Por outro lado, reconhece-se que este diagnóstico esteve limitado no seu raio de ação, uma vez que os setores foram muitas vezes tratados como entidades únicas. Sugere-se à empresa que aposte no estudo profundo do gargalo identificado nesta dissertação, o setor da 2ª Escolha Eletrónica, uma vez que se verificou que a máquina SVE desenvolvida na empresa e tornada parte do processo produtivo há relativamente pouco tempo, apresentava ainda tempo e número de paragens que não deveriam ser admitidas no gargalo de qualquer processo. Um estudo na área da Gestão da Manutenção a este equipamento traria grandes benefícios à produtividade do setor, uma vez que ficou evidente durante o período de observação que este contribuía de forma significativa para a fraca performance do gargalo.

Em relação ao modelo de otimização desenvolvido, ficou confirmado o interesse do responsável pelo planeamento bissemanal do setor estudado, na medida em que ficou reconhecido o potencial desta ferramenta que se reconhece estar focada na redução dos stocks em armazém. Este é outro dos grandes objetivos da Amorim & Irmãos, que possui atualmente dezenas de armazéns de produtos em vias de fabrico entre setores, num valor que ascende às muitas dezenas de milhões de unidades no total.

Por outro lado, a ferramenta também foi desenvolvida com o objetivo de ser facilmente integrada nas atividades da unidade fabril. A utilização do *software Microsoft Excel* e o desenvolvimento do modelo utilizando o método *simplex* permitiram que este pudesse vir a ser implementado na empresa sem a necessidade de qualquer período de adaptação. A agregação da informação retirada do modelo em quadros de planeamento semelhantes aos atualmente atualizados foi também uma forma de tornar a implementação da ferramenta o mais idealista possível.

A ferramenta desenvolvida apresenta vantagens em relação à atualmente utilizada, facilmente compreendidas pelo facto do seu modelo de planeamento permitir a recolha de variados dados atualizados de forma instantânea.

Os dados obtidos são, desta forma, fiáveis, tendo-se verificado durante o período experimental que a alocação dos produtos às máquinas era feita de forma coerente e respeitando sempre as limitações impostas, tanto a nível de existências em armazém, como de acompanhamento dos valores da produção dos últimos meses. Reconhece-se, porém, que a ferramenta ainda necessita de novos desenvolvimentos antes de poder ser considerada como substituta total ao método atualmente utilizado. O mais importante destes desenvolvimentos prende-se com a

incorporação de algum tipo de dados relacionado com a procura após a operação considerada. A empresa funciona neste momento com a elaboração de compromissos semanais que procuram refletir a procura real que as diversas referências possuem. Face à existência destes compromissos do que deve ser apresentado semanalmente no supermercado para satisfação das encomendas entretanto colocadas, foi considerado que o método de planeamento atualmente utilizado era ainda o mais indicado para a alocação de referências às diversas máquinas.

No geral, considera-se o desenvolvimento desta ferramenta um sucesso, uma vez que, ao invés do método atualmente utilizado, reflete a realidade do que existe, de facto, em armazém e dos lotes que podem, com efeito, ser movimentados para produção. Esta é, pois, a maior falha do método de planeamento atualmente utilizado não só no setor da 2ª Escolha Eletrónica, como nos restantes setores que completam o processo produtivo. Este é desenvolvido a partir de suposições das quantidades de cada classe que virão, eventualmente, abastecer o armazém que alimenta a 2ª Escolha Eletrónica, em vez de retirar valores reais dessas existências em armazém.

Devido a estes fatores, considera-se que a melhoria do modelo desenvolvido trará benefícios ao planeamento da produção quando alargada a todos os setores, uma vez que permitirá à equipa da Produção deixar de fazer previsões relativas à segregação das rolhas em classes, que se creem bastante subjetivas devido às características da matéria-prima, cuja qualidade é afetada de forma natural pelas mais diversas condições de desenvolvimento, crescimento, transporte e aprovisionamento, para dar origem a rolhas naturais de qualidade praticamente imprevisível.

Referências

- Amorim & Irmãos, S.A. 2015. *Manual de Acolhimento*. Santa Maria de Lamas.
- Bertsimas, Dimitris & Tsitsiklis, John N. 1997. *Introduction To Linear Optimization*. Massachusetts. Athena Scientific.
- Bonney, M. C. *et al.* 1999. "Are push and pull systems really so different ?". *International Journal of Production Economics* 59 (1-3): 53-64.
- Corticeira Amorim, S.G.P.S., S.A. (2016). *Relatório e Contas 2015*. Mozelos.
- Dantzig, George, Orden, Alexander & Wolfe, Philip. 1955. "The Generalized Simplex Method For Minimizing A Linear Form Under Linear Inequality Restraints". *Pacific Journal Of Mathematics* 5 (2): 183-195.
- Herrmann, Jeffrey W. 2006. *Handbook Of Production Scheduling*. New York. Springer.
- Jacobs, F. Robert & Chase, Richard B. 2014. *Operations and Supply Chain Management*. New York. McGraw-Hill Education.
- Lambert, Douglas M., Cooper, Martha C. & Pagh, Janus D. 1998. "Supply Chain Management: Implementation Issues and Research Opportunities". *The International Journal of Logistics Management* 9(2), 1–19.
- Min, Hokey & Zhou, Gengui. 2002. "Supply chain modeling: past, present and future". *Computers & Industrial Engineering* 43 (1-2): 231-249.
- Ohno, Taiichi. 1988. *Toyota Production System: Beyond Large Scale Production*. Cambridge, Mass. Productivity Press.
- Poppendieck, M. 2002. "Principles of Lean Thinking". Leanessays.com. <http://www.leanessays.com/2002/11/principles-of-lean-thinking.html>. Acedido a 12/11/2016.
- Pyke, David F. & Cohen, Morris A. 1990. "Push and pull in manufacturing and distribution systems". *Journal of Operations Management* 9 (1): 24-43.
- Rastogi, Dr. M.K. 2010. *Production and Operation Management*. New Delhi. Laxmi Publication.
- Rother, Mike & Shook, John. 2003. *Learning to see*. Brookline, MA. Lean Enterprise Institute.
- Sims, Trumone & Wan, Hung-da. 2017. "Constraint identification techniques for lean manufacturing systems". *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 43: 50-58.
- Spearman, Mark L. & Zazanis, Michael A. 1992. "Push and Pull Production Systems: Issues and Comparisons". *Operations Research* 40 (3): 521-532.
- Watson, Kevin J.; Blackstone, John H. & Gardiner, Stanley C. 2007. "The evolution of a management philosophy: the theory of constraints". *Journal of Operations Management* 25 (2): 387-402.
- Womack, J. & Jones, D. (2003). *Lean Thinking: Banish waste and create wealth in your corporation*. New York. Simon & Schuster, Ltd.

ANEXO A: Redução do número de referências em armazém a considerar

Calibre	Classe	OF	Qtd disp.
45X24	A	314524	479,585
45X24	A	31595	
45X24	A	31604	
45X24	A	31605	
45X24	A	31622	
45X24	A	31623	
45X24	A	31624	
45X24	A	31625	25
45X24	A	31636	
45X24	A	3900731	
45X24	A	600505	125
45X24	A	604524	407,747
45X24	A	60609	
45X24	A	684524	25,532
45X24	A	734524	
45X24	A	96001	
45X24	AA	314524	124,582
45X24	AA	31604	
45X24	AA	31605	
45X24	AA	31622	
45X24	AA	31623	
45X24	AA	31624	
45X24	AA	31625	25
45X24	AA	31636	
45X24	AA	3900731	
45X24	AA	3900732	
45X24	AA	600505	25
45X24	AA	604524	119,84
45X24	AA	60609	
45X24	AA	684524	
45X24	AA	96001	
45X24			
45X24	B	372153	
45X24	B	3900731	

Calibre	Classe	OF	Qtd disp.
45X24	B	3904524	27
45X24	B	600505	120
45X24	B	604524	329,056
45X24	B	60609	
45X24	B	684524	20
45X24	B	694524	
45X24	B	694924	
45X24	B	96001	
45X24			
45X26	A	604526	200
45X26	A	684526	
45X26	A	734526	
45X26			
45X26	AA	604524	
45X26	AA	604526	80
45X26	AA	60969	
45X26	AA	684526	
45X26			
45X26	B	3900500	
45X26			
49X24	A	308800	
49X24	A	3904924	
49X24	A	4117	
49X24	A	600301	
49X24	A	601609	
49X24	A	604924	232,658
49X24	A	684924	397,264
49X24	A	684934	
49X24	A	694924	
49X24			
49X24	AA	308800	
49X24	AA	31584	
49X24	AA	4117	

Calibre	Classe	OF	Qtd disp.
49X24	AA	600301	29,675
49X24	AA	601609	
49X24	AA	604526	
49X24	AA	604924	213,031
49X24	AA	684924	126
49X24			
49X24	B	308800	
49X24	B	3904924	
49X24	B	600301	90
49X24	B	600401	
49X24	B	604924	268,189
49X24	B	684924	72
49X24	B	684924N22694	
49X24	B	694924	
49X24			
49X25	AA	604925	49
49X25			
49X26	A	600401	18
49X26	A	604926	50,466
49X26	A	684926	
49X26	A	694926	
49X26			
49X26	AA	600401	18
49X26	AA	604926	134,353
49X26	AA	684926	
49X26			
54X24	A	605424	
54X24	A	685424	
54X24	A	695424	
54X24			
54X24	AA	605424	49
54X24	AA	685424	

Exemplo da desconsideração de algumas referências durante o planeamento, por apresentarem quantidades irrisórias em *stock*

Ano
2017

Quantidades em armazém

45X24	AA	0	Ref1
45X24	A	338,251	Ref2
45X24	B	158,147	Ref3
49X24	AA	213,285	Ref4
49X24	A	574,861	Ref5
49X24	B	288,142	Ref6
45X26	AA	110,316	Ref7
45X26	A	213,49	Ref8
49X26	AA	138,712	Ref9
49X26	A	308,18	Ref10
54X24	AA	89,594	Ref11
54X24	A	0	Ref12
54X26	AA	0	Ref13

Mes

1

1

2

3

4

5

6

7

Dia

5

6

7

8

9

10

1

2

Exemplo da redução sistemática das ordens de fabrico a apenas 13 referências

ANEXO B: Exemplo da conversão da matriz resultado em Tabelas de planeamento

Planeamento

Quantidade disponível em armazém

45X24	AA	157,924
45X24	A	626,221
45X24	B	277,414
49X24	AA	498,574
49X24	A	618,335
49X24	B	198,025
45X26	AA	215
45X26	A	170,029
49X26	AA	146,15
49X26	A	357,934
54X24	AA	0
54X24	A	0
54X26	AA	164

Dia Selecionado

10/1

Por Máquina

	Calibre	Classe	Qtd a prod (ML)	n turnos		
m1	49X26	A	162,053	56	2,9	3
	-	-	-		0	
m2	49X26	A	146,127	56	2,6	3
	45X26	AA	15,925		0,3	
m3	49X24	A	188,976	63	3	3
	-	-	-		0	
m4	45X24	A	149,275	63	2,4	3
	45X24	B	29,745		0,5	
m5	49X24	A	188,976	63	3	3
	-	-	-		0	
m6	49X24	AA	188,976	63	3	3
	-	-	-		0	
m7	49X24	A	188,976	63	3	3
	-	-	-		0	
m8	49X24	B	173,913	63	2,8	3
	-	-	-		0	
m9	49X24	B	114,229	63	1,8	3
	45X24	B	59,512		0,9	
m10	45X24	A	188,976	63	3	3
	-	-	-		0	
m11	54X24	AA	89,594	63	1,4	3
	45X24	B	68,890		1,1	

Transformação da informação das quantidades em armazém para quadro de planeamento por máquina

Por Turno

Calibre	Classe			T1	T2	T3
45X24	AA	0	0	0	0	0
45X24	A	5,4	5	2	2	2
45X24	B	2,5	3	1	1	1
49X24	AA	3	3	1	1	1
49X24	A	9	9	3	3	3
49X24	B	4,6	5	2	2	2
45X26	AA	0,3	0	0	0	1
45X26	A	0	0	0	0	0
49X26	AA	0	0	0	0	0
49X26	A	5,5	6	2	2	1
54X24	AA	1,4	1	0	0	0
54X24	A	0	0	0	0	0
54X26	AA	0	0	0	0	0
				11	11	11

Transformação da informação das quantidades em armazém para quadro de planeamento por turno